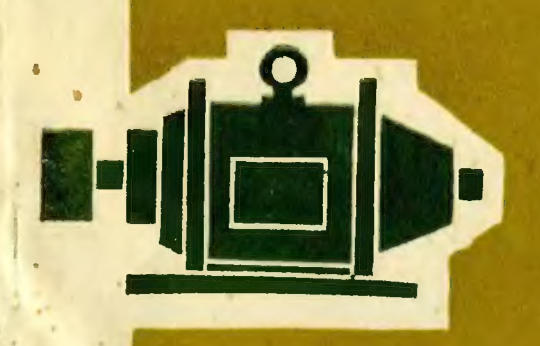
Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Н. М. СЛОНИМ

испытания асинхронных двигателей при ремонте





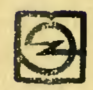
БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 304

Н. М. СЛОНИМ

ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1970

6П2.1.061
С 47
УДК 621.313.333.001.4

Слоним Н. М.

С 47 Испытания асинхронных двигателей при ремонте, М., «Энергия», 1970.

80 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 304).

В брошюре рассмотрены испытания асинхронных двигателей общепромышленного применения в процессе и по окончанию их ремонта.

Приведены нормативные данные, принципиальные схемы, а также краткие методические указания по выполнению проверок, измерений и испытаний.

Брошюра предназначена для электромонтеров и электрообмотчиков, знакомых с принципом действия электрических машин и электроизмерительных приборов и принимающих участие в испытаниях асинхронных двигателей.

3-3-9 / 125-70 — 6П2.1.061

Слоним Нисим Моисеевич

Испытания асинхронных двигателей при ремонте

Редактор *Э. Я. Бранденбургская*
Технический редактор *О. Д. Кузнецова*
Корректор *З. Б. Шлайфер*

Сдано в набор 27/III 1970 г. Подписано к печати 27/X 1970 г. Т-15160
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 4,11
Тираж 20 000 экз. Цена 15 коп. Зак. 1151

Издательство „Энергия". Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В настоящее время около 70% эксплуатируемого парка электродвигателей составляют машины, которые были капитально отремонтированы по крайней мере один раз. Естественно, что к капитальному ремонту асинхронных электродвигателей предъявляются серьезные технические требования, направленнные к тому, чтобы по надежности в эксплуатации и техническим характеристикам отремонтированные машины не уступали бы новым машинам, выпускаемым промышленностью.

Основные указания и требования по капитальному ремонту асинхронных электродвигателей общепромышленного применения изложены в ведомственных технических условиях Министерства электротехнической промышленности ТУ 16-519.002-67 — для ремонта электрических машин в стационарных условиях и ТУ 16-519.005-67 — для ремонта на месте установки.

Для обеспечения необходимого качества все ремонтируемые двигатели проходят ряд испытаний, которые могут быть разделены на три группы:

предремонтные испытания — перед началом ремонта;

промежуточные (операционные) испытания — в процессе ремонта;

сдаточные испытания — после окончания ремонта.

Предремонтные испытания имеют целью определить, какие именно узлы машины являются дефектными и подлежат ремонту или замене, а в отдельных случаях выявить исправные электродвигатели, которые вообще не подлежат ремонту и поступили в ремонт по ошибке.

Промежуточные испытания служат для того, чтобы еще в процессе ремонта на различных его стадиях выявить допущенные при ремонте неисправности, примененные дефектные материалы, узлы, детали или запасные части и выполнить необходимые исправления своевременно, так как дефекты, обнаруженные при сдаточных

испытаниях, требуют для исправления много времени и затраты больших средств.

Объем и нормы предремонтных и промежуточных испытаний и сроки их применения строго не регламентированы, однако практика электромашиностроительных и электроремонтных предприятий выработала соответствующие рекомендации, которые изложены в ведомственных и заводских нормалях. Методы этих испытаний не должны отличаться от указанных в ГОСТ 11828-66 (Машины электрические. Методы испытаний) и ГОСТ 7217-66 (Электродвигатели трехфазные асинхронные мощностью от 100 *вт* и выше. Методы испытаний).

Предремонтные испытания и замеры включают измерения геометрических размеров узлов и деталей, величин механических износов и отклонений (эксцентриситет, биение, конусность и т. д.), а также в необходимых случаях электрические испытания (измерение сопротивления изоляции, проверка электрической прочности изоляции, измерение сопротивления обмоток и их частей при постоянном токе) и проверку состояния сердечника статора (определение величины потери в стали).

В объем промежуточных испытаний при ремонте входит обычно испытание электрической прочности изоляции запасных и вновь изготовленных обмоток (катушек, стержней) как до укладки (проверяется как витковая, так и общая изоляция), так и после укладки в пазы (до соединения и пайки) и, наконец, после пайки и изолировки соединений; испытывается также электрическая прочность изоляции кронштейнов, бандажных колец, лобовых частей обмотки, стяжных и крепежных болтов (у крупных машин), контактных колец (у электродвигателей с фазовым ротором). После пайки схемы производится обычно проверка правильности схемы. После пропитки и сушки проверяют также величину сопротивлений изоляции всей обмотки относительно корпуса и между фазами обмотки.

Упомянутые выше технические условия ТУ 16-519.002-67 и ТУ 16-519.005-67 устанавливают два вида испытаний асинхронных двигателей после капитального ремонта (сдаточные испытания): контрольные и типовые.

Контрольным испытаниям подвергаются все электрические машины, отремонтированные без изменения мощности или скорости вращения, т. е. машины, у которых при ремонте сохранены электрические и магнитные нагрузки; машины, отремонтированные с изменением мощности

или скорости вращения, подвергаются типовым испытаниям. Очевидно, типовым испытаниям должны также подвергаться машины, поступившие в ремонт без заводских щитков и выпущенные из ремонта с номинальными данными, определенными расчетом, выполненным ремонтной организацией.

В объем контрольных испытаний асинхронных двигателей после ремонта входит:

измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса электродвигателя и между обмотками;

измерение сопротивлений обмоток при постоянном токе;

определение тока и потерь холостого хода;

определение тока и потерь короткого замыкания;

испытание при повышенной скорости вращения (только при замене обмотки ротора или бандажей);

испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность;

испытание изоляции обмоток относительно корпуса электродвигателя и между обмотками на электрическую прочность;

определение коэффициента трансформации (для электродвигателей с фазовым ротором);

обмотка электродвигателей на холостом ходу.

Если ремонт крупных электродвигателей (мощностью 100 *ква* и выше) производится на месте установки, то при контрольных испытаниях, кроме обкатки на холостом ходу, должно производиться опробование под полной нагрузкой в течение 24 *ч*.

В объем типовых испытаний асинхронного двигателя после ремонта входят кроме всех указанных выше контрольных испытаний, также испытания на нагревание и на кратковременную перегрузку по току.

Кроме того, при типовых испытаниях по методике, указанной в ГОСТ 7217-66, определяют величину к. п. д., коэффициента мощности, скольжения, максимального вращающего момента, а для двигателей с короткозамкнутым ротором определяют также минимальный вращающий момент в процессе пуска, начальный пусковой вращающий момент и начальный пусковой ток.

Технические требования к отремонтированным электродвигателям в отношении величины испытательных напряжений, сопротивления изоляции, предельных допускаемых температур, к. п. д., коэффициента мощности,

начального максимального и минимального момента, начального пускового тока и т. п. должны соответствовать ГОСТ 183-66 и ГОСТ 186-52, а методика испытаний определяется ГОСТ 11828-66 и ГОСТ 7217-66.

Последовательность проведения сдаточных испытаний, указанная выше, не является обязательной, однако в требованиях ГОСТ указывается, что испытанию изоляции обмоток на электрическую прочность относительно корпуса машины, между обмотками и между витками должны предшествовать при контрольных испытаниях измерение сопротивления изоляции, определение тока и потерь короткого замыкания и испытание при повышенной скорости вращения (если оно производится), а при типовых испытаниях также испытание при кратковременной перегрузке по току; при типовых испытаниях, кроме того, испытание при повышенной скорости вращения должно производиться непосредственно после испытания на нагревание.

При всех испытаниях для измерения электрических величин должны применяться измерительные приборы необходимого класса точности; в частности, применяемые электроизмерительные приборы (с шунтами и добавочными сопротивлениями), мосты, измерительные трансформаторы тока и напряжения должны быть класса точности не ниже 0,5. Исключение допускается для измерения сопротивления изоляции, когда применяются обычные мегомметры, а также для измерения мощности в трехфазной сети одним трехфазным ваттметром (допускается применять трехфазный ваттметр класса не ниже 1).

Для обеспечения необходимой точности измерений измерительные приборы следует подбирать так, чтобы измеряемые значения электрических величин находились в пределах 20—95% шкалы. Особенно важно правильно выбрать однофазные ваттметры для измерения мощности в трехфазных цепях по методу двух ваттметров; необходимо, чтобы одновременно измеряемые токи и напряжения были не меньше 20% номинальных токов и напряжений, показываемых ваттметром. Если при испытаниях производятся измерения по нескольким приборам, необходимо отсчеты показаний всех приборов производить одновременно. Ниже при рассмотрении отдельных испытаний приведены схемы соединения измерительных приборов.

Обычно при испытаниях крупных асинхронных электродвигателей, отремонтированных на месте установки, собирают в каждом отдельном случае временные испытательные схемы. На стационарных электроремонтных предприятиях и в электроремонтных цехах, как правило, оборудуются испытательные отделения и участки с постоянными испытательными схемами.

В настоящее время организован промышленный выпуск нескольких типов комплектных испытательных установок, предусматривающих возможность проведения всех испытаний при ремонте различного электрического оборудования. Комплектные установки для промежуточного контроля и сдаточных испытаний отремонтированных асинхронных электродвигателей разработаны институтом по ремонту и эксплуатации тракторов и сельскохозяйственных машин (ГОСНИТИ) совместно с Раазикусским опытным ремонтным заводом объединения «Эстсельхозтехника» Совета Министров Эстонской ССР и выпускаются этим заводом.

Установки промежуточного контроля предназначены для проведения промежуточных испытаний в процессе капитального ремонта трехфазных асинхронных электродвигателей напряжением до 380 *в* мощностью до 40 *квт*; одна установка может обеспечить испытание 30 000 — 40 000 электродвигателей в год (при двухсменной работе).

Выпускаются два типа установок для промежуточного контроля: УПК-1 для испытаний ремонтируемых электродвигателей после укладки и пайки обмоток (до пропитки), УПК-2 для испытаний ремонтируемых электродвигателей после пропитки и сушки обмотки (до сборки).

Каждая установка размещается на производственной площади 5 $м^2$ и обслуживается двумя рабочими. Потребляемая мощность 1 *квт*.

Комплектные контрольно-испытательные установки типа КИУ-1 и КИУ-1Маг предназначены для послеремонтных (сдаточных) испытаний асинхронных электродвигателей напряжением до 380 *в* и мощностью до 40 *квт*. В установке КИУ-1Маг предусмотрена возможность нагрузочных испытаний; в установке КИУ-1 такие испытания не предусмотрены.

Производительность установки — 8 500 электродвигателей в год при работе в две смены (нагрузочные испытания на КИУ-1Маг должны производиться в третью

смену), потребляемая мощность до 55 *ква*, обслуживающий персонал — 2 чел. Установка КИУ-1 требует для размещения 15 $м^2$ площади, а установка КИУ-1Маг около 25 $м^2$.

Существует тенденция к созданию полуавтоматических и полностью автоматизированных испытательных установок для промежуточного контроля и сдаточных испытаний отремонтированных машин, в которых переход от одного испытания к последующему происходит автоматически. Большого распространения такие испытательные установки пока не получили, хотя на крупных электроремонтных предприятиях с большим выпуском организация автоматических испытательных станций весьма целесообразна.

2. СНЯТИЕ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЗОРОВ

При ремонте электродвигателей, у которых демонтирована обмотка и отсутствует заводский паспорт, восстановление обмоточных данных производится расчетным путем на основании снятых с натуры размеров электродвигателя.

Неправильные или недостаточно точные замеры могут повлечь за собой серьезные осложнения вплоть до полной непригодности перемотанного электродвигателя. Поэтому несмотря на кажущуюся простоту, работы по обмеру электродвигателя требуют достаточного внимания. Каждое измерение должно повторяться 2—3 раза, чтобы была полная уверенность в правильности результатов. Рекомендуется сопровождать измерения поясняющими эскизами. Перед измерениями необходимо тщательно очистить электродвигатель от грязи, пыли и масла и продуть его сжатым воздухом; прочно приставшие частицы краски и лака удалить ножом или шабером.

Ниже приводятся некоторые общие рекомендации по производству измерений.

Длину сердечников статора и ротора замеряют масштабной линейкой, прикладываемой ко дну паза статора или ротора. Измерение по головкам зубцов может дать неверные результаты; по торцам сердечника крайние зубцы обычно расходятся, образуя так называ-

емый «веер». Следует иметь в виду, что длины сердечников статора и ротора могут несколько отличаться друг от друга.

Внешний диаметр сердечника статора и внутренний диаметр сердечника ротора не всегда доступны для непосредственного измерения, так как перед пакетами стали могут быть расположены нажимные (торцевые) шайбы и кольцевые шпонки (замки), фиксирующие шайбы. В этих случаях приходится прибегать к косвенным измерениям, например, замерив высоту спинки статора и высоту зубца, определяют внешний диаметр пакета $D_{внешн}$ из соотношения

$$D_{внешн}=D_{внутр}+2h_{сп}+2h_{зуб},$$

где $D_{внутр}$ — внутренний диаметр статора (диаметр расточки); $h_{сп}$ — высота спинки статора; $h_{зуб}$ — высота зубца статора.

Аналогично путем косвенных измерений определяется внутренний диаметр сердечника ротора. Внутренний диаметр стали ротора многих электродвигателей малой мощности можно определить по диаметру вала, так как для них часто применяют насадку листов стали непосредственно на вал — без промежуточной крестовины.

Размеры и площадь пазов. Размеры пазов следует снимать после тщательной расчистки поверхности пазов от остатков изоляции и лака, которые не всегда удается удалить при общей очистке электродвигателя. В зависимости от формы пазов применяют те или иные мерительные инструменты — штангенциркуль, масштабные линейки, калибры и т. п.

При необходимости в определении размеров паза сложной формы наиболее совершенным является снятие с паза оттиска. Для этого вырезают четыре пластинки из листового свинца толщиной 2 — 3 *мм*, площадью достаточной для перекрытия двух-трех пазов. Пластинки прикладывают к торцам сердечника и сжимают массивной полосой с помощью стяжного болта, как это указано на рис. 1.

При затягивании гайки стяжного болта свинец вдавливается в пазы и на поверхности пластинки получается достаточно четкий оттиск паза, размеры которого измеряют чертежным инструментом. По снятым размерам вычерчивают паз и вычисляют его площадь.

Наиболее распространенная форма пазов и расчетные формулы для определения их площади приведены на рис. 2.

Воздушный зазор, т. е. зазор между статором и ротором, имеет существенное значение для эксплуатационных параметров электродвигателя. Увеличение воздушного зазора против номинального влечет за собой повышение тока холостого хода, уменьшение коэффициентов мощности и полезного действия. Ориентировочно каждый процент увеличения зазора влечет за собой повышение тока холостого хода на 0,6% и снижение коэффициента мощности на 0,3%. При увеличении зазора на 15—20% электродвигатель нужно перематывать по новым обмоточным данным (с увеличенным числом витков в пазу), а при увеличении больше чем на 20% экономическая целесообразность ремонта становится сомнительной.

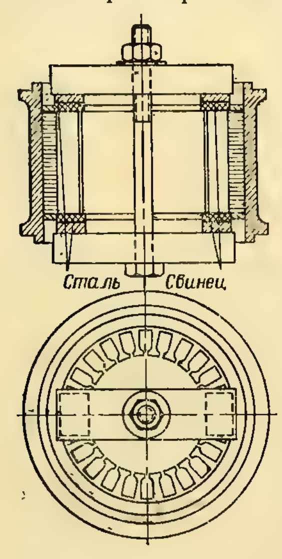


Рис. 1. Снятие оттисков пазов статора.

Увеличение воздушного зазора может быть вызвано проточкой внутренней поверхности статора или наружной поверхности ротора при ремонте электродвигателя, что является совершенно недопустимым. Кроме того, описаны случаи [Л. 1], когда у отдельных электродвигателей, установленных на металлургическом заводе, после 15—20 лет эксплуатации воздушный зазор увеличился на 50—100% из-за шлифующего действия пыли содержащейся в охлаждающем воздухе. Другой причиной увеличения зазоров является неправильное хранение электродвигателей на складе, при котором корродируется поверхность стали сердечников статора и ротора.

Учитывая, что в асинхронных двигателях абсолютная величина воздушного зазора невелика (например, для большинства электродвигателей единой серии типов А, АЛ, АО и АОЛ мощностью до 2,8 *квт* номинальный зазор не привышает 0,3 *мм*), измерение его следует производить с максимально возможной точностью.

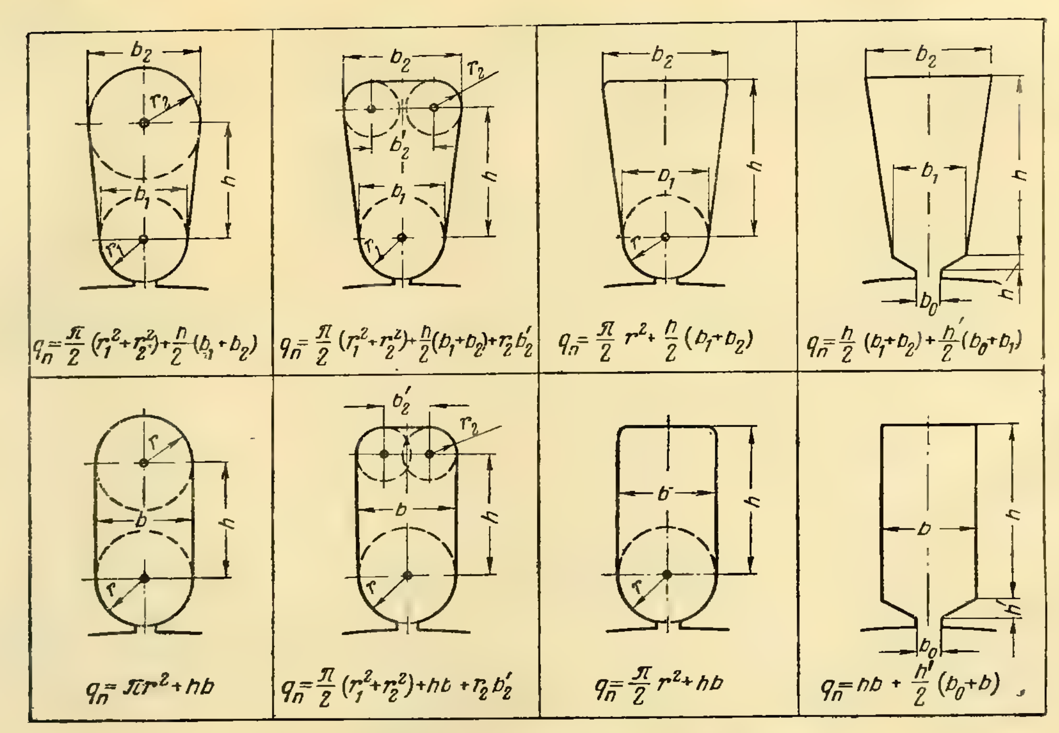


Рис. 2. Наиболее распространенные формы пазов.

Помимо величины, имеет существенное значение степень неравномерности зазора. Для асинхронных двигателей неравномерность зазора (определяемая как отношение зазора в данной точке к средней величине зазора) должна лежать в ограниченных пределах; отклонение от среднего значения не должно превышать ±10%. Неравномерность зазора обычно является следствием выработки подшипников и реже следствием эллиптичности ротора или статора. Для крупных электродвигателей значительная разница зазоров в вертикальной и горизонтальной плоскостях может быть из-за деформации (провисания) статора при недостаточно жесткой станине.

В собранном электродвигателе замер зазора следует производить с двух сторон (со стороны расположения схемы и со стороны, противоположной схеме) с помощью щупа, вводимого через смотровые или специальные люки в торцевых щитах. С каждой стороны замер производят в четырех точках, сдвинутых относительно друг друга по окружности на 90°. Величину зазора определяют как среднеарифметическую величину всех замеров.

Некоторые электродвигатели, главным образом малой мощности, не имеют отверстий или люков, в которые можно ввести щуп. В таких двигателях измерение зазоров производят после их разборки. Для этого ротор укладывают непосредственно на статор и замеряется зазор δ_1 против самой верхней точки расточки статора. Вслед за тем ротор поворачивают на 90° и вновь замеряют зазор δ_2 против той же точки статора. Величину зазора $\delta_{ср}$ определяют по формуле

$$\delta_{ср} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{4}.$$

Для суждения о допустимости величины воздушного зазора можно руководствоваться ориентировочными данными (*мм*), приведенными в табл. 1.

Зазоры в подшипниках. В разъемных подшипниках скольжения радиальный вертикальный зазор измеряют по оттискам отрезков свинцовой проволоки диаметром 0,5—1,0 *мм* и длиной 2—4 *см*, закладываемых между шейкой вала и верхней половиной вкладыша, а также в плоскость разъема вкладышей. После снятия крышки подшипника и верхней половины вкладыша в ме-

Таблица 1

Скорость вращения, *об/мин*	Допустимый воздушный зазор (*мм*) для двигателя мощностью, *квт*				
	До 0,2	0,2—1,0	1,0—2,5	2,5—5,0	5,0—10
500—1 500	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
3 000	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5

Продолжение табл. 1

Скорость вращения, *об/мин*	Допустимый воздушный зазор (*мм*) для двигателя мощностью, *квт*				
	10—20	20—50	50—100	100—200	200—300
500—1 500	0,45	0,5	0,65	0,8	1,0
3 000	0,65	0,8	1,0	1,25	1,5

ста, указанные на рис. 3, укладывают отрезки свинцовой проволоки. Затем верхнюю половину вкладыша и крышку подшипника устанавливают на свои места и равномерно затягивают стяжными болтами. При подтягивании болтов отрезки свинцовой проволоки сплющиваются соответственно зазорам. Подшипник вновь разбирают и микрометром замеряют толщину всех свинцовых оттисков. Зазор по линии K_1—K_1 определяют по формуле

$$\delta_1 = C_1 - \frac{d_1 + d_2}{2}.$$

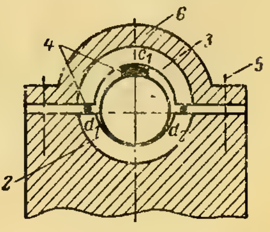
Зазор по линии K_2—K_2 будет:

$$\delta_2 = C_2 - \frac{d_3 + d_4}{2}.$$

Расчетный вертикальный зазор принимают по формуле

$$\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}.$$

Величины δ_1 и δ_2 не должны отличаться между собой больше чем на 10%.



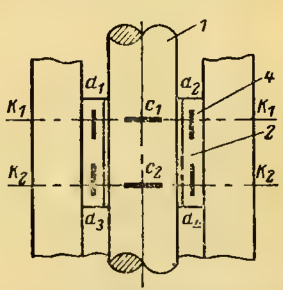


Рис. 3. Измерение зазоров в разъемном подшипнике.

1 — вал; *2* — нижний вкладыш; *3* — верхний вкладыш; *4* — свинцовая проволока; *5* — ось стяжного болта; *6* — крышка подшипника.

Радиальный зазор в неразъемных подшипниках скольжения измеряют щупом, вводимым между шейкой вала и вкладышем. При измерении щуп следует вводить на всю длину вкладыша.

Допустимые радиальные вертикальные зазоры в подшипниках скольжения указаны в табл. 2.

Таблица 2

Диаметр вала, *мм*	Зазор (*мм*) при скорости вращения, *об/мин*		
	до 1 000	1 000—1 500	свыше 1 500
18—30	0,04—0,093	0,06—0,13	0,14—0,28
30—50	0,05—0,112	0,075—0,16	0,17—0,34
50—80	0,065—0,135	0,095—0,195	0,2—0,4
80—120	0,08—0,16	0,12—0,235	0,23—0,46
120—180	0,1—0,195	0,15—0,285	0,26—0,52
180—260	0,12—0,225	0,18—0,30	0,3—0,6
260—360	0,14—0,25	0,21—0,38	0,34—0,68
360—500	0,17—0,305	0,25—0,44	0,38—0,76

В подшипниках качения радиальные зазоры измеряются щупом, который вводится между обоймой и телом качения (шариком, роликом). Измерения зазоров можно производить также индикаторами часового типа, установленными на специальном штативе, в котором жестко закрепляется подшипник.

Таблица 3

Диаметр вала, *мм*	Минимальный зазор, *мм*		Максимальный зазор, *мм*
	Шарикоподшипники	Роликоподшипники	
20—30	0,005	0,01	0,1
35—50	0,01	0,02	0,15
55—80	0,015	0,03	0,20
85—120	0,02	0,04	0,30

Допустимые радиальные зазоры в подшипниках качения приведены в табл. 3.

Боковые радиальные зазоры в подшипниках скольжения допускаются в пределах половины вертикальных зазоров.

Таблица 4

Мощность двигателя, *квт*	Минимальный зазор, *мм*	Максимальный зазор, *мм*
До 10	0,4	1,0
10—20	0,5	1,5
20—40	0,75	2,0
40—80	1,0	3,0
80—160	1,5	4,0
160—500	2,0	5,0

Осевой зазор в подшипниках качения не должен превышать 0,2—0,05 *мм.* Для подшипников скольжения допустимые величины осевых зазоров указаны в табл. 4.

3. ИСПЫТАНИЕ АКТИВНОЙ СТАЛИ СТАТОРА

Целью испытания активной стали является проверка отсутствия замыкания между листами и вызванных этими замыканиями местных перегревов. Испытание также дает возможность оценить величину потерь стали и таким образом, определить исправность всего сердечника в собранном виде. Испытание производят индукционным методом при вынутом роторе по схеме, приведенной на рис. 4, при магнитной индукции в спинке статора $B=1$ *тл*, создаваемой намагничивающей обмоткой, накладываемой на сердечник статора. При испытании частота переменного тока должна составлять 50 *гц*.

Намагничивающая обмотка выполняется проводом ПР или ПРГ. Допускается также применение обмоточного провода, дополнительно изолированного пропитанной в лаке хлопчатобумажной лентой. При отсутствии провода необходимого сечения намагничивающая обмотка может быть выполнена из нескольких параллельных проводов. Применение освинцованного или бронированного кабеля недопустимо. Во избежание повреждений изоляции провода обмотку следует накладывать на прокладки из дерева или электрокартона, уложенные поверх корпуса статора. На время испытания корпус статора следует надежно заземлить проводом сечением не менее 50 $мм^2$.

Число витков намагничивающей обмотки определяется по формуле

$$w_1 = \frac{45U_1}{Q},$$

где U_1—напряжение, подключаемое при испытании к концам намагничивающей обмотки, *в*; $Q = (l - nb_s) h_{сп} k_{ст}$ —

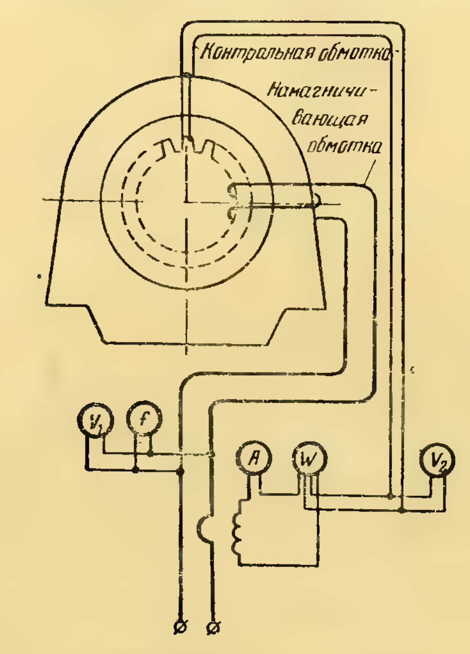


Рис. 4. Схема испытания активной стали.

поперечное сечение спинки статора, *см*²; l—полная длина пакета стали статора, *см*; n—число вентиляционных каналов; b_s — ширина вентиляционных каналов, *см*; $k_{ст}$ — коэффициент заполнения стали (табл. 5);

$$h_{сп} = \frac{D_{внешн} - D_{внутр}}{2} - h_{зуб},\ см.$$

Размеры $D_{внешн}$, $D_{внутр}$, b_s и $h_{зуб}$ показаны на рис. 5. В том случае, если через спинку статора проходят стяжные болты, высота спинки определяется по формуле

$$h_{сп} = \frac{D_{внешн} - D_{внутр}}{2} - h_{зуб} - d_{отв}\ (\text{см. рис. } 6).$$

Таблица 5

Вид изоляции	Коэффициент заполнения стали при толщине стали, *мм*	
	0,5	0,35
Оклейка бумагой	0,9	0,87
Лакировка	0,93	0,91
Без изоляции или оксидная изоляция	0,95	0,93

В том случае, если число витков окажется дробным, надо принять ближайшее целое число.

При выборе источника питания для намагничивающей обмотки следует учитывать, что более высокое напряже-

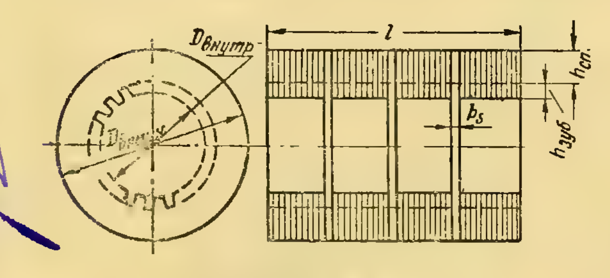


Рис. 5. Размеры активной стали.

ние позволяет применить обмотку с бо́льшим числом витков и, следовательно, более близким к расчетному значению.

Ток, потребляемый намагничивающей обмоткой, для создания в спинке индукции, равной 1 *тл*, определяется по формуле

$$I_1 = \frac{3,3\,(D_{внешн} - h_{сп})\,aw}{w_1},$$

где $h_{сп}$ — высота спинки, *см*; aw — удельная н. с., *ав/см*, равная 2—2,5 для повышеннолегированной и высоколегированной стали, 4,5—5 для слаболегированной и среднелегированной стали,

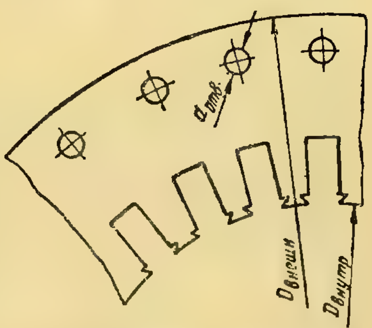


Рис. 6. Размеры спинки стали.

Бо́льшее значение относится к статорам с числом сегментов более четырех и разъемным статорам. При отсутствии данных по сорту стали следует руководствоваться следующим: статоры двигателей мощностью до 10 000 *квт* выпуска до 1932 г. изготовлялись из слаболегированной стали. Начиная с 1932 г. статоры изготовляются из высоколегированной стали.

Допускаемая нагрузка для намагничивающей обмотки составляет:

Сечение провода, *мм*²	Нагрузка, *а*
6	30
10	45
16	60
25	85
35	105
50	130

Мощность, необходимая для питания намагничивающей обмотки:

$$P_{исп} = \frac{I_1 U_1}{1\,000},\ ква.$$

Число витков контрольной обмотки w_2 определяется соотношением

$$w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1},$$

где U_2 — напряжение на зажимах контрольной обмотки, которое выбирается из условия удобного отсчета показаний по шкале установленного вольтметра.

Намагничивающая обмотка присоединяется к источнику питания через отдельные предохранители и двухполюсный рубильник, которые должны быть выбраны, исходя из величины тока, потребляемого намагничивающей обмоткой.

При проведении испытания предварительно следует произвести пробное включение намагничивающей обмотки и проверить напряжение на зажимах контрольной обмотки, которое не должно значительно отличаться от расчетной величины.

Необходимо следить за тем, чтобы при испытании частота тока в сети поддерживалась равной 50 *гц*. В случае невозможности обеспечить это, испытание стали следует отложить на время, когда нагрузка сети будет снижена (ночное время, выходные дни и т. д.).

Следует иметь в виду, что величина напряжения на зажимах контрольной обмотки U_2 пропорциональна магнитной индукции в стали и если напряжение U_2 отличается от расчетного, то магнитная индукция не будет равна 1 *тл*. Величина магнитной индукции при испытании может быть определена по формуле $B=kU_2$, где $k=45/Qw_2$.

По истечении 10 *мин* после начала испытания следует напряжение снять, проверить на ощупь нагрев стали по всей расточке статора и, выбрав наиболее холодный зубец, заложить в него термопары или термометры, затем включить напряжение и через 10 *мин* вновь снять его, на ощупь определить зубцы, имеющие повышенный нагрев, и также установить в них термопары или термометры. Остальные термометры или термопары устанавливают равномерно по расточке и длине активной стали. При этом на участках активной стали, подвергавшихся ремонту, закладка термометров или термопар обязательна. После закладки термопар или термометров включают напряжение и в течение 90 *мин* ведут прогрев стали статора. В процессе прогрева через каждые 10 *мин* записывают температуру в журнале.

Испытание стали следует немедленно прекратить, отключив намагничивающую обмотку в том случае, если в процессе прогрева температура какой-либо точки активной стали статора достигает 100° С, а также при появлении дыма и искр из какого-либо участка стали статора или намагничивающей обмотки.

Состояние активной стали статора считается в пределах нормы, когда удельные потери не превосходят 2,5 *вт/кг* для повышеннолегированной и высоколегированной стали и 5,5 *вт/кг* для слаболегированной и среднелегированной стали по истечении 90 *мин* после начала испытаний максимальный перегрев стали относительно температуры окружающего воздуха не превысит 45°С и когда максимальная разность перегревов между отдельными зубцами по истечении 90 *мин* после начала испытаний не превысит 25° С.

Подсчет удельных потерь производится по формуле

$$P_0=\frac{40k_{\text{тр}}\,\frac{w_1}{w_2}\,P_{\text{в}}}{Q\,(D_{\text{внешн}}-h_{\text{сп}})},\quad вт/кг,$$

где $P_в$ — показание ваттметра, *вт*, без учета $k_{тр}$; $k_{тр}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока.

В том случае, когда индукция B в спинке не равна 1 *тл* (U_2 не равно расчетному), действительная величина удельных потерь должна быть пересчитана по формуле $P_1 = P_0/B^2$, где P_0 — удельные потери при испытании.

Место испытания огораживают, около него устанавливают предостерегающие плакаты. В процессе испытания к статору прикасаться нельзя. Все наблюдения следует вести, не прикасаясь к приборам.

4. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА И МЕЖДУ ОБМОТКАМИ

Материалы, применяемые для изоляции обмоток электродвигателей, не являются идеальными диэлектриками и в зависимости от своих физико-химических свойств являются в большей или меньшей степени токопроводящими. Сопротивление изоляции обмоток, помимо конструкции самой изоляции и примененных материалов, в значительной степени зависит также от влажности изоляции, механических повреждений и загрязнения поверхности обмоток.

О величине сопротивления изоляции судят по величине проходящего через нее тока при приложении постоянного напряжения. Сопротивление изоляции меряют мегомметром с ручным или электрическим приводом либо сетевым мегомметром, а также методом вольтметра.

Как известно, сопротивление изоляции измеряется в омах, но так как в обмотках двигателей оно обычно очень велико, то принято его выражать в миллионах ом, откуда и происходит название прибора. Мегомметр (рис. 7) представляет собой генератор постоянного тока, к выводам которого подсоединяется измеряемое сопротивление. Мегомметр по существу фиксирует ток, проходящий через измеряемое сопротивление, но для удобства пользования шкала его измерительного прибора отградуирована непосредственно в омах или мегомах.

В качестве измерительного прибора в мегомметре применяется лагометр, в котором взаимодействуют две обмотки: обмотка *1*, соединенная последовательно с из-

меряемым сопротивлением, и обмотка 2, подключенная параллельно к выводам генератора. Перед замерами производится упрощенная проверка мегомметра: при вращении ручки и замкнутых накоротко зажимах мегомметра показание прибора должно быть равно нулю, при разомкнутых зажимах показание должно быть равно

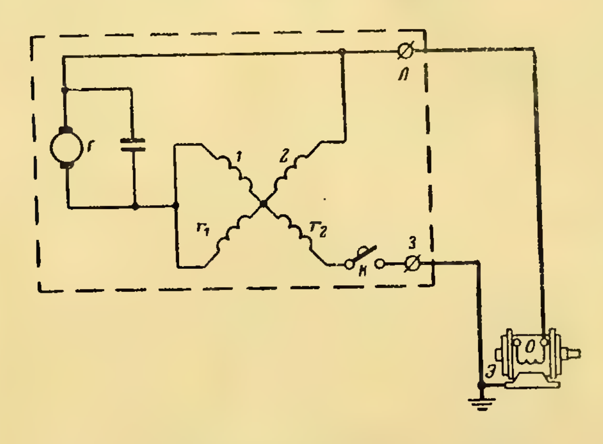


Рис. 7. Принципиальная схема мегомметра.

Г — генератор постоянного тока; *1* — последовательная обмотка мегомметра; *2* — параллельная обмотка мегомметра; r_1, r_2 — ограничивающие сопротивления; *Л* — линейный зажим; *З* — зажим для присоединения заземления; *К* — кнопка включения; *Э* — корпус электродвигателя; *О* — обмотка электродвигателя.

бесконечности. Обмотку перед измерением сопротивления ее изоляции на 1—2 *мин* заземляют для того, чтобы могущие быть в ее изоляции остаточные заряды стекли в землю и не повлияли на результаты испытания.

Провода, соединяющие мегомметр с испытуемой обмоткой, а также с корпусом электродвигателя, должны иметь усиленную и надежную изоляцию. Ручку мегомметра следует вращать по возможности с равномерной скоростью — около 150 *об/мин*. После разворота ручки мегомметра до указанной скорости вращения включают кнопку *К* и тем самым испытуемая обмотка подключается к генератору мегомметра. В мегомметрах, у которых кнопки нет, после разворота ручки провод от зажима *Л* подключают к обмотке электродвигателя щупом (стальная острозаточенная игла с изолированной ручкой из текстолита или эбонита).

В начале замеров стрелка прибора делает бросок к началу шкалы, затем показание прибора медленно начинает увеличиваться и через некоторое время (15—60 *сек*) стрелка устанавливается в некотором положении. Первоначальный бросок стрелки, соответствующий повышенному току генератора мегомметра, вызывается зарядным током, определяемым емкостью изоляции, который быстро затухает. Относительно медленное движение стрелки после спадания емкостного тока определяется токами абсорбции.

Изоляция практически не является монолитной, ее можно рассматривать состоящей из ряда слоев, т. е. последовательно соединенных емкостей. При приложении напряжения внутренние емкости в этой цепочке заряжаются через сопротивление предшествующих. При хорошей, сухой изоляции сопротивление каждого из слоев велико и зарядный ток мал. Поэтому процесс заряда происходит медленно. При сырой изоляции процесс протекает быстро и также быстро стрелка прибора достигает своего максимального значения.

Установившееся показание прибора свидетельствует об окончании зарядки внутренних слоев изоляции (при этом ток абсорбции равен нулю). Это показание определяется только так называемым током сквозной проводимости, т. е. током, проходящим внутри изоляции по капиллярам, заполненным влагой, и током, проходящим по наружной поверхности изоляции, которая всегда в некоторой степени загрязнена и увлажнена.

Таким образом, судить о состоянии изоляции следует по величине тока сквозной проводимости и по скорости спадания тока абсорбции.

Последняя определяется коэффициентом абсорбции:

$$k_{\text{абс}} = \frac{R_{60}}{R_{15}},$$

где R_{15} и R_{60} — сопротивление изоляции, отсчитанное соответственно через 15 и 60 *сек* после достижения мегомметром полного числа оборотов.

При хорошей, сухой изоляции коэффициент абсорбции составляет 1,5—2,0, а для увлажненной приближается к единице.

Согласно ГОСТ 183-66 сопротивление изоляции электрической машины относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками при рабочей темпера-

туре машины должно быть не менее значения, получаемого по формуле, но не менее 0,5 *Мом*:

$$r = \frac{U}{1\,000 + 0{,}01P}, \text{ Мом},$$

где U — номинальное напряжение машины, *в*; P — номинальная мощность машины, *квт*.

Сопротивление изоляции очень сильно зависит от температуры; с увеличением температуры оно снижается, а при уменьшении температуры повышается. Поэтому ГОСТ 183-66 предусматривает следующее: если измерение сопротивления изоляции производится при температуре ниже рабочей, полученное по приведенной формуле сопротивление изоляции следует удваивать на каждые 20° С (полные или неполные) разности между рабочей температурой и той температурой, при которой выполнено измерение. Практически у электродвигателей с высушенной и неповрежденной изоляцией обмотки значение сопротивления изоляции всегда бывает выше нормируемой.

ГОСТ 183-66 предписывает применять при измерении сопротивления изоляции обмоток электродвигателей с номинальным напряжением до 500 *в* включительно мегомметр на 500 *в* и для электродвигателей с напряжением выше 500 *в* — мегомметр на 1 000 *в*. Рекомендуется применять мегомметры, которые приводятся во вращение не вручную, а приводным электродвигателем. Помимо облегчения проведения испытаний, это значительно повышает точность результатов.

Для электродвигателей, у которых выведены концы и начала всех фаз, измерение сопротивления изоляции производят между каждой фазой и корпусом, а также между фазами.

При измерении сопротивления каждой из электрических цепей все прочие цепи соединяют с корпусом машины. По окончании измерения сопротивления изоляции каждой электрически независимой цепи следует разрядить ее на заземленный корпус двигателя. Для обмоток на номинальные напряжения 3 000 *в* и выше продолжительность разрядки для двигателей до 1 000 *квт* не менее 15 *сек* и для электродвигателей мощностью более 1 000 *квт* — не менее 1 *мин*.

Схема сетевого мегомметра с кенотроном приведена на рис. 8. Прибор мегомметра имеет две шкалы: для из-

мерения больших (*Мом*) и малых (*ом*) сопротивлений. Для первого вида измерений зажимы *9* замыкают накоротко перемычкой *11*; стрелку микроамперметра устанавливают потенциометром *6* в крайнее деление шкалы, соответствующее нулевому значению, затем перемычку отсоединяют и подключают измеряемое сопротивление к зажимам *9*.

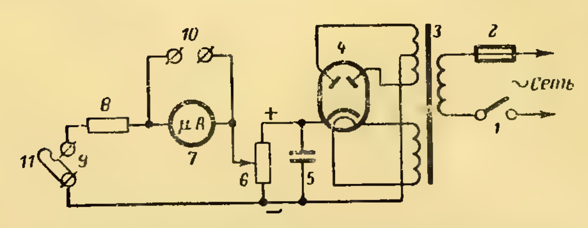


Рис. 8. Схема сетевого мегомметра с кенотроном.

1 — выключатель питания; *2* — предохранитель; *3* — силовой трансформатор; *4* — двухполупериодный кенотрон (выпрямитель); *5* — конденсатор фильтра; *6* — потенциометр для установки стрелки микроамперметра на нуль; *7* — микроамперметр; *8* — добавочное сопротивление; *9* — зажимы для измерения больших сопротивлений изоляции; *10* — зажимы для измерения малых сопротивлений изоляции; *11* — перемычка для установки стрелки прибора и включения второго предела измерения.

При измерении малых сопротивлений зажимы *9* также перед измерением замыкают накоротко перемычкой *11* и устанавливают стрелку микроамперметра в крайнее деление шкалы, соответствующие «бесконечности», затем к зажимам *10* подключают измеряемое сопротивление.

На рис 9 представлена другая схема сетевого мегомметра, где вместо кенотрона применены полупроводниковые диоды. Это делает сетевой мегомметр более компактным, легким и более надежным в эксплуатации.

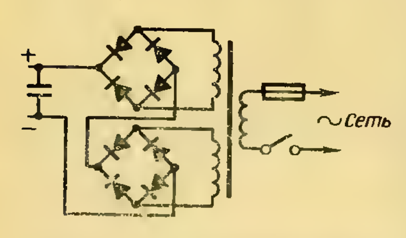


Рис. 9. Схема сетевого мегомметра с полупроводниковыми диодами.

Схема соединения при измерении сопротивления изоляции методом вольтметра при питании от сети постоянного тока приведена на рис. 10.

При измерении предварительно фиксируют напряжение питающей сети U_1, для чего переключатель ставят в верхнее

положение *1*. Затем переключатель переводят в нижнее положение *2* и замеряют показание вольтметра U_2. Так как при нижнем положении рубильника сопротивление вольтметра $r_в$ (указанное на шкале вольтметра или приведенное в его паспорте) и измеряемое

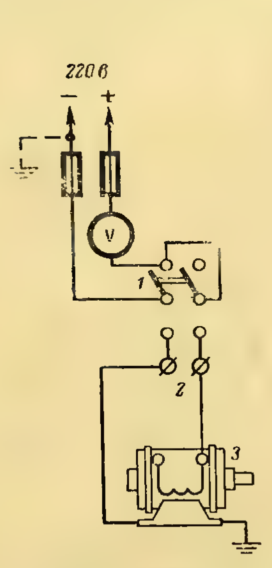


Рис. 10. Измерение сопротивления изоляции вольтметром при питании от сети постоянного тока.

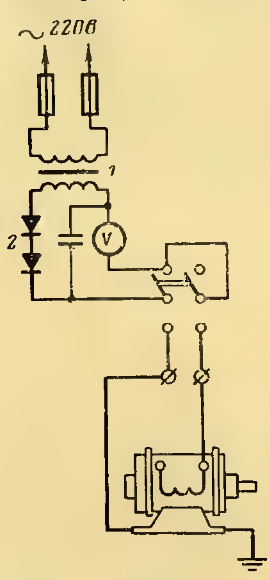


Рис. 11. Измерение сопротивления изоляции вольтметром при питании от сети переменного тока.

сопротивление r соединены последовательно, то падение напряжения в них будет распределяться прямо пропорционально величинам их сопротивлений.

Падение напряжения в вольтметре составит U_2 *в*, а в изоляции $U_1 - U_2$ *в*.

Таким образом, $\frac{r_в}{r} = \frac{U_2}{U_1 - U_2}$; $r = r_в\left(\frac{U_1 - U_2}{U_2}\right) =$

$$= r_в\left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right).$$

Для получения большей точности измерений вольтметр выбирают с большим собственным сопротивлени-

ем. Измерение можно производить не только от стационарной сети постоянного тока, но и от аккумуляторной батареи.

При измерении от электросети, один полюс которой может быть заземлен (на рис. 10 обозначено пунктиром), во избежание короткого замыкания следует подключать заземленный корпус электродвигателя *3* таким образом, чтобы он оказался соединенным с заземленным полюсом сети.

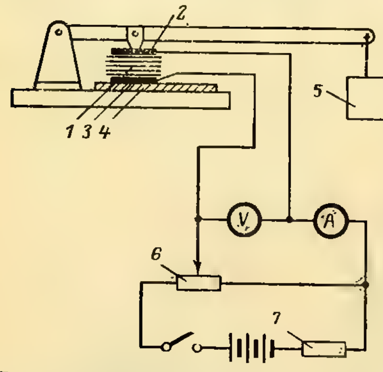


Рис. 12. Приспособление для измерения сопротивления изоляции листов активной стали.

Помимо питания от источника постоянного тока можно применить для измерения также выпрямленный ток. На рис. 11 представлена схема измерения сопротивления изоляции при питании от сети переменного тока. Эта схема отличается от приведенной на рис. 10 наличием трансформатора *1* и выпрямителя *2*. При питании выпрямленным током, если выпрямитель включен не непосредственно в сеть, а через трансформатор, отделяющий сеть переменного тока от цепи выпрямленного напряжения (как это указано на рис. 11), заземленный корпус электродвигателя может быть присоединен к любому из зажимов выпрямителя.

При ремонтах электродвигателей, связанных с переизолировкой активной стали, возникает необходимость проверки качества лаковой пленки после нанесения лака на листы и его запечки. Одним из показателей служит сопротивление изоляции постоянному току отлакированных листов стали. В этом случае измерение сопротивления производят на приспособлении, изображенном на рис. 12.

Пачку из 20 отлакированных листов *1* сжимают между электродами *2* и *3*. Площадь каждого из электродов составляет 1 *дм²*. Под электродом *3* устанавливают изолирующую подкладку *4*. Листы сжимают рычагом с подвешанным на его конце грузом *5*. Этот груз подбирается таким образом, чтобы давление, оказываемое на пачку

листов, составляло 600 *кГ* (удельное давление 6 *кГ/см²*). При указанных условиях сопротивление изоляции должно быть не менее 50 *ом*.

Источником питания может являться аккумуляторная батарея или выпрямитель напряжением 10—15 *в*. Устанавливают потенциометром *6* ток 0,1 *а*. Для предохранения амперметра от повреждения в цепь включают защитное сопротивление *7*. Величину защитного сопротивления выбирают таким образом, чтобы при случайном коротком замыкании электродов *2* и *3* ток, проходящий через амперметр, не превосходил бы предельной величины, на которую рассчитан амперметр, т. е.

$$R \geqslant \frac{U_б}{I_{амп}},\ ом,$$

где $U_б$—напряжение источника питания; $I_{амп}$—предельная величина тока амперметра.

При эксплуатации крупных электродвигателей, под влиянием магнитной асимметрии и некоторых других причин в замкнутом контуре (подшипники, вал, фундаментная плита), указанном на рис. 13, возникает электрический ток. Этот ток разъедает шейки вала и вкладыши подшипников, из-за чего работа подшипников ухудшается и они быстро выходят из строя.

Для предотвращения возникновения этих токов указанный замкнутый контур разрывают установкой изолирующей текстолитовой или гетинаксовой прокладки между фундаментной плитой и подшипниковой стойкой. Болты, крепящие стойку к плите, изолируют изоляционными втулками и шайбами. При принудительной смазке подшипников во фланцах маслопровода устанавливают изоляционные прокладки и втулки.

В процессе эксплуатации и при ремонте установленную изоляцию необходимо периодически проверять: измеряют сопротивления изоляции между подшипниковой стойкой и фундаментной плитой при полностью собранном маслопроводе мегомметром на напряжение 500—1 000 *в*.

Как видно из рис. 13, сопротивление изоляции не может быть проверено в собранном электродвигателе, так как изолированный подшипник запараллелен цепью, составленной валом, другим неизолированным подшип-

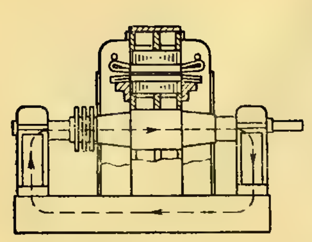


Рис. 13. Контур подшипниковых токов.

ником и фундаментной плитой. Для измерения необходимо приподнять вал и заложить прокладку из электрокартона между шейкой вала и вкладышем подшипника. Величина сопротивления, хотя и не является нормируемой, должна находиться на достаточно высоком уровне — не ниже 1 *Мом*, так как она очень быстро и значительно снижается при загрязнении прокладок.

При ремонте, а также при эксплуатации крупных двигателей, температуру нагрева которых измеряют заложенными в обмотку термодетекторами, необходимо периодически измерять сопротивление изоляции этих термодетекторов, так как нарушение ее может представить серьезную опасность для обслуживающего персонала. Проверку производят мегомметром на напряжение 250 *в*. Величина сопротивления не является нормируемой; показательным является ее сравнение с результатами предыдущих измерений.

5. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ПРИ ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

При измерении сопротивления обмоток при постоянном токе имеет значение не только абсолютная величина сопротивления и соответствие ее расчетной, но и симметричность сопротивлений отдельных фаз. Одинаковая, но незначительно отличающаяся от расчетного значения величина сопротивления каждой фазы может быть вызвана ошибкой в числе витков катушки, применением провода, отличающегося сечением от расчетного, либо средной длиной витка, отличающейся от расчетной. Разные значения сопротивлений отдельных фаз могут быть следствием многих причин: ошибок в схеме соединения катушек и катушечных групп, витковых замыканий и плохого качества паек.

Допустимое отклонение фактической величины сопротивления от расчетной можно принять равной ±2%, а

допустимую величину расхождения сопротивления отдельных фаз не более 2% среднего значения сопротивления фаз.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе производят по методу амперметра — вольтметра, а также электрическими мостами. Измеряют обмотки при их практически холодном состоянии (температура любой части электродвигателя отличается от температуры окружающей среды не более чем на ±3° С). Температуру окружающего воздуха замеряют не менее чем в трех местах на расстоянии от 1 до 2 *м* от электродвигателя.

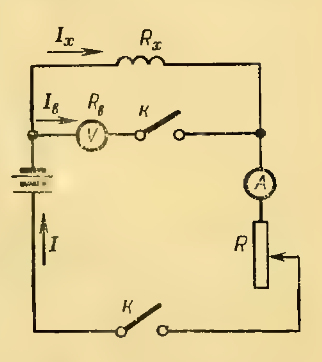


Рис. 14. Способ амперметра—вольтметра.

I_x — ток в измеряемом сопротивлении; $I_в$ — ток в ветви вольтметра; I — ток по амперметру; R_x — измеряемое сопротивление; $R_в$ — сопротивление вольтметра; K — рубильник; R — добавочное регулируемое сопротивление.

Термометры нужно располагать на уровне оси электродвигателя в местах, защищенных от потоков воздуха, создаваемых другими электродвигателями или вентиляторами или случайными причинами. За расчетную температуру принимают среднюю из показаний термометров. Схема подключения измеряемого сопротивления, источника питания и приборов приведена на рис. 14.

В качестве источника питания может быть применена аккумуляторная батарея, создающая ток в обмотке до 20% номинального.

Во избежание повреждения вольтметра импульсами э. д. с. при резком изменении тока в цепи измерения необходимо сначала включить нижний рубильник (у аккумуляторной батареи) при отключенном верхнем рубильнике (у вольтметра); этот рубильник включают только тогда, когда ток в измеряемом сопротивлении установится. Регулировку производят с помощью добавочного сопротивления.

Искомая величина R_x определяется следующим образом:

$$I_x = \frac{U}{R_x} \text{ и } I_в = \frac{U}{R_в},$$

где U — замеренное напряжение, *в*; $R_в$ — сопротивление вольтметра, *ом*; I_x — ток, проходящий через сопротивление, *а*; $I_в$ — ток, проходящий через вольтметр, *а*;

Ток аккумуляторной батареи

$$I = I_x + I_в = \frac{U}{R_x} + \frac{U}{R_в}.$$

Преобразуя последнее выражение, находим:

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_в}}.$$

Когда сопротивление вольтметра превосходит измеряемое сопротивление более чем в 100 раз, отношение $U/R_в$ очень мало по сравнению с I и можно с достаточной точностью принять, что

$$R_x = \frac{U}{I}.$$

При сборке схемы следует обратить особое внимание на надежность контактных соединений самой схемы. В частности, чтобы исключить влияние переходного сопротивления контактов, при измерении сопротивления обмотки ротора цепь вольтметра следует подключать не к поводкам постоянно смонтированных щеток а непо-

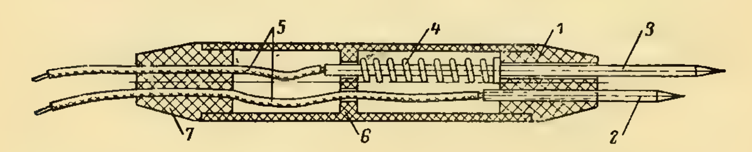


Рис. 15. Сдвоенный щуп для измерения сопротивлений.

средственно к контактным кольцам через специальные щетки.

Для раздельного подключения к испытуемому сопротивлению цепей вольтметра и амперметра иногда применяют специальный сдвоенный щуп (рис. 15). Щуп имеет две иглы — неподвижную *2*, ввинченную или запрессованную в текстолитовый наконечник *1*, и подвижную иглу *3*, свободно проходящую через наконечник

и отжимаемую пружиной 4. Игла 3 соединена с помощью проводника 5 с амперметром, а игла 2 с вольтметром. Щуп заключен во втулку 6, закрытую изолятором 7.

При подсоединении щупов сначала с измеряемым сопротивлением соприкасаются подвижные иглы, а затем

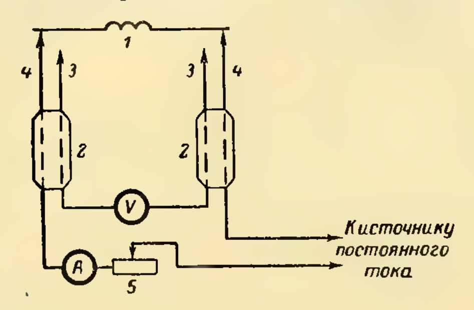


Рис 16. Подключение сдвоенных щупов.
1 — измеряемое сопротивление; 2 — сдвоенные щупы; 3 — неподвижные иглы щупа; 4 — подвижные иглы щупа; 5 — реостат.

при дальнейшем нажатии на щуп — неподвижные иглы. При отнятии щупов вначале разрывается цепь вольтметра, а потом уже цепь тока. Тем самым вольтметр предохраняется от толчков э. д. с., возникающих при размыкании тока (рис. 16).

Следует отметить, что при пользовании обычными щупами (иглой с изолированной ручкой) пришлось бы применить четыре щупа и, следовательно, занять работой два человека. При пользовании сдвоенными щупами ту же работу может выполнить один человек.

При измерении сопротивлений обмоток электродвигателя, если выведены только три выводных конца обмотки (глухое соединение), следует замерить сопротивление между каждой парой выводных концов (r_{1-2}, r_{2-3} и r_{3-1}). Если эти сопротивления равны, то сопротивление каждой фазы (r_1, r_2 и r_3) составляет:

при соединении в звезду (рис. 17)

$$r_1 = r_2 = r_3 = \frac{r_{1-2}}{2} = \frac{r_{2-3}}{2} = \frac{r_{3-1}}{2},$$

при соединении в треугольник (рис. 18)

$$r_1 = r_2 = r_3 = 1{,}5r_{1-2} = 1{,}5r_{2-3} = 1{,}5r_{3-1}.$$

Если замеренные сопротивления на выводах различаются между собой, то сопротивление каждой фазы составляет:

при соединении в звезду

$$r_1 = \frac{r_{1-3} + r_{1-2} - r_{2-3}}{2}; \quad r_2 = \frac{r_{1-2} + r_{2-3} - r_{3-1}}{2};$$

$$r_3 = \frac{r_{2-3} + r_{3-1} - r_{1-2}}{2},$$

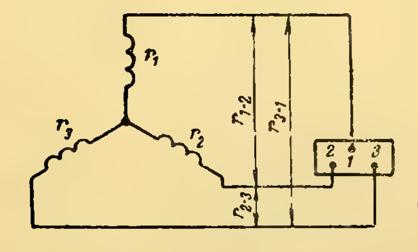


Рис. 17. Измерение сопротивления при соединении фаз в звезду.

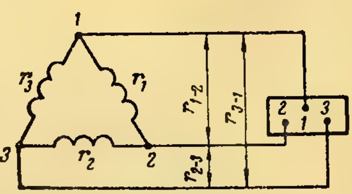


Рис. 18. Измерение сопротивления при соединении фаз в треугольник.

при соединении в треугольник

$$r_1 = \frac{2r_{2-3}r_{3-1}}{r_{2-3} + r_{3-1} - r_{1-2}} - 0{,}5(r_{2-3} + r_{3-1} - r_{1-2});$$

$$r_2 = \frac{2r_{3-1}r_{1-2}}{r_{3-1} + r_{1-2} - r_{2-3}} - 0{,}5(r_{3-1} + r_{1-2} - r_{2-3});$$

$$r_3 = \frac{2r_{1-2}r_{2-3}}{r_{1-2} + r_{2-3} - r_{3-1}} - 0{,}5(r_{1-2} + r_{2-3} - r_{3-1}).$$

Замеры сопротивления обмоток производят при трех значениях тока: 10, 15 и 20% номинального[1]. За расчетные принимают среднее из трех измерений. Измеренные сопротивления различных фаз обмоток статора и ротора не должны отличаться друг от друга более чем на ±2% средней величины, а от ранее измеренных или от заводских данных более чем на ±2%.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе можно производить также электрическими моста-

---

[1] Измерение при токе, большем чем 20% номинального, может привести к искажению результатов из-за нагревания измеряемого сопротивления.

ми. Как известно, принцип действия моста состоит в том, что измеряемое сопротивление R_x и три известных регулируемых сопротивления r_1, r_2 и r_3 включают таким образом, чтобы образовался замкнутый четырехугольник. К двум диагонально расположенным углам четырехугольника прикладывают напряжение от источника постоянного тока — обычно от аккумуляторной батареи, а к двум другим углам четырехугольника подключают чувствительный гальванометр, у которого нулевое положение стрелки расположено по середине шкалы.

Подбором сопротивлений r_1, r_2 и r_3 можно добиться того, чтобы через гальванометр не проходил ток. Это возможно при том условии, когда произведения противоположно расположенных сопротивлений равны между собой, т. е. когда

$$R_x r_2 = r_1 r_3.$$

Отсюда следует:

$$R_x = \frac{r_1 r_3}{r_2}.$$

Этот простой одинарный мост Витстона пригоден для измерения сравнительно большого сопротивления обмоток мелких двигателей, поскольку в измеряемую величину фактически входит как искомое сопротивление самих обмоток, так и сопротивление соединительных проводов и контактов, которым при сравнительно большом сопротивлении обмоток можно пренебречь. Применение одинарного моста ограничено измерением сопротивлений от 1 *ом* и выше.

Более универсальным, пригодным для измерения как больших, так и сопротивлений менее 1 *ом* является двойной мост Томсона, при измерении которым сопротивление соединительных проводов и контактов практически не имеет значения. Однако эти мосты громоздки и дороги.

По конструктивному исполнению в зависимости от способа подбора или регулировки переменных сопротивлений мосты разделяются на штепсельные, рычажные и линейные (струнные).

В штепсельных мостах (рис. 19) включение переменных сопротивлений производят при установке штепселей в гнезда, к которым присоединены эти переменные сопротивления. При хорошей подгонке штепсе-

лей к гнездам можно добиться очень точных результатов измерений. Недостатком штепсельных мостов является большая затрата времени при производстве замеров

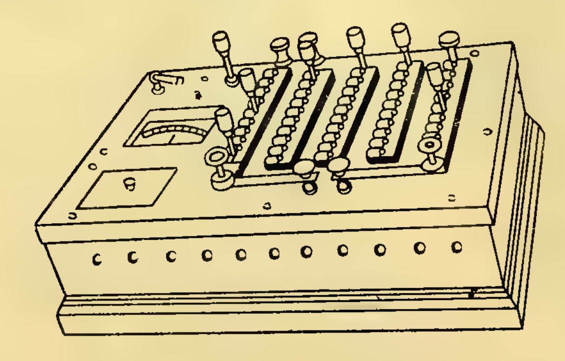


Рис. 19. Штепсельный мост

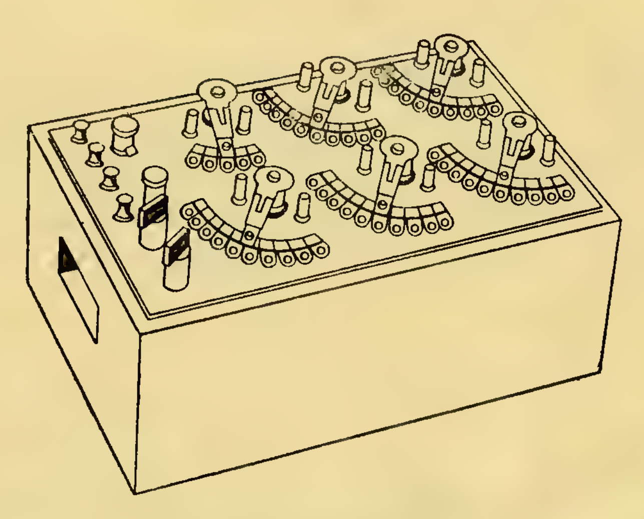


Рис. 20. Рычажный мост.

В рычажных мостах (рис. 20) включение переменных сопротивлений достигается перемещением рычага по набору контактов, к которым подключены переменные сопротивления. При чистых хороших контак-

тах точность измерений на рычажных мостах не уступает точности измерений на штепсельных мостах, при значительно более высокой скорости замеров.

В линейных мостах каждое из переменных сопротивлений выполнено в виде проволоки (струны) из материала, обладающего высоким удельным сопротивлением, по которой может передвигаться подвижный контакт (нож).

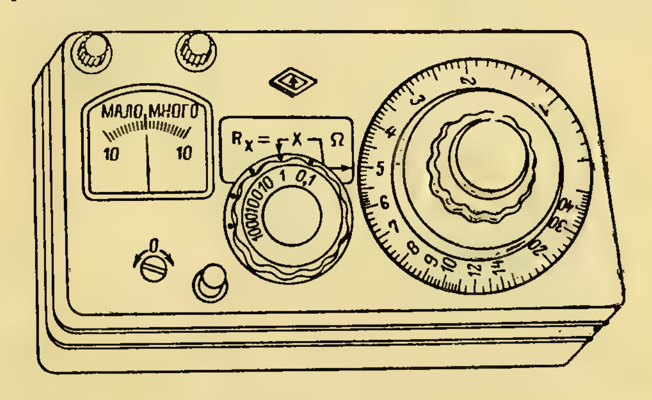


Рис. 21. Линейный мост.

В некоторых конструкциях (рис. 21) струна располагается по окружности. В линейных мостах в зависимости от положения подвижного контакта изменяется соотношение переменных сопротивлений. Линейные мосты являются самыми дешевыми, работа на них так же быстра, как и на рычажных мостах, однако точность измерений ниже, чем на других типах мостов. Применяются линейные мосты только для измерений, не требующих высокой точности.

Как известно, сопротивление проводника при постоянном токе зависит от материала проводника, его размеров и его температуры. Поэтому расчетные величины сопротивлений обмоток обычно относят к температуре 15° С и если измерение сопротивления производилось при другой температуре, то его пересчитывают к величине, соответствующей 15° С.

Например, сопротивление медного проводника при температуре t_1° С равно R_{t1} *ом*. При температуре t_2° С оно составит:

$$R_{t2} = R_{t1} \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \text{, } \mathit{ом}.$$

Сопротивление медного проводника, отнесенное к 15° С, составит:

$$R_{15} = R_{t1} \frac{250}{235 + t_1}, \text{ ом}.$$

Для алюминиевых проводов зависимость сопротивления от температуры определяется соотношением

$$R_{t2} = R_{t1} \frac{245 + t_2}{245 + t_1}, \text{ ом},$$

сопротивление, отнесенное к 15° С, составит:

$$R_{15} = R_{t1} \frac{260}{245 + t_1}, \text{ ом}.$$

6. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ СХЕМЫ И НАЛИЧИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ПОЛЯ

Эта проверка относится к промежуточным (операционным) испытаниям. После укладки всех катушек обмотки производят необходимые соединения схемы. Обычно перед окончательной пайкой схемы проверяют ее правильность. При этом обмотку статора влючают на пониженное трехфазное напряжение (24 или 36 *в*), после чего на расточку статора кладут шарик (от подшипника качения), который под действием магнитного поля статора будет вращаться по поверхности расточки с равномерной скоростью по направлению вращения поля. Если скорость движения шарика не будет равномерной или шарик будет останавливаться, то это является признаком неправильности схемы или наличия короткозамкнутых витков.

Еще лучше проверять наличие вращающегося поля с помощью простого приспособления, состоящего из шарикоподшипника № 6 диаметром 6 *мм*, закрепленного на деревянной ручке, проходящей через центральное отверстие шарикоподшипника с помощью текстолитовой (гетинаксовой) шайбы и шурупа.

Приспособление держат за ручку и обводят им окружность расточки на небольшом расстоянии от поверхности. Если схема обмотки правильна, то под действием вращающегося поля наружное кольцо подшипника будет при обходе вращаться с равномерной скоростью в одну сторону. При неправильной схеме соединения обмотки скорость и направление вращения наружного кольца

шарикоподшипника будут меняться, а при наличии в обмотке короткозамкнутых витков кольцо в соответствующем месте остановится. Этим же приспособлением можно проверить и правильность соединения обмотки фазового ротора до окончательной пайки схемы; при этом обмотку ротора включают на пониженное трехфазное напряжение и приспособление обводят вокруг поверхности ротора на небольшом расстоянии от нее.

7. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ОТНОСИТЕЛЬНО КОРПУСА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И МЕЖДУ ОБМОТКАМИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

Электрическая прочность изоляции обмоток в первую очередь обусловливает эксплуатационную надежность электродвигателя. С течением времени изоляция обмоток под влиянием проходящих в ней электрических и химических процессов, а также под влиянием тепловых и механических нагрузок теряет свои электроизоляционные и механические качества.

При ремонте двигателей, связанном с перемоткой обмоток, испытание электрической прочности изоляции необходимо производить после каждой технологической операции, так как повреждение изоляции может произойти на любом этапе ремонта. Время приложения испытательного напряжения должно быть достаточным для выявления дефектов в изоляции. ГОСТ 183-66 устанавливает длительность испытания 1 *мин.* Более продолжительное испытание может привести к повреждению изоляции даже при отсутствии дефектов в ней.

Уровень испытательных напряжений должен быть таким, чтобы можно было выявить все дефектные места в изоляции (трещины, смещения, проколы и т. п.), но вместе с тем, чтобы исправная изоляция при этом не повреждалась.

Испытание электрической прочности изоляции обмоток двигателей производят после замера сопротивления изоляции и только при удовлетворительных показателях замера. Сильная увлажненность или загрязненность изоляции может оказаться причиной ее пробоя при испытании высоким напряжением.

В тех случаях, когда в полный объем испытаний входит определение тока и потерь короткого замыкания, это определение должно предшествовать испытанию электрической прочности изоляции.

Если у двигателя выведены начала и концы всех фаз обмотки, испытанию подвергают каждую фазу; две других фазы подключают к корпусу двигателя, который при

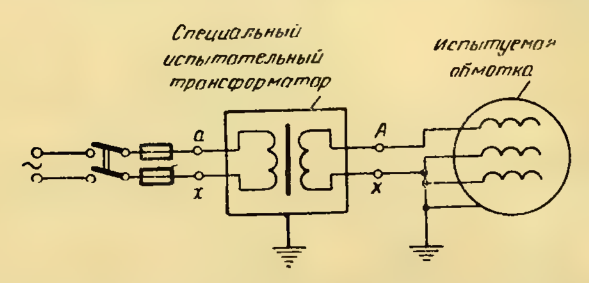


Рис. 22. Схема включения испытательного трансформатора.

этом заземляют. В тех случаях, когда концы и начала фаз отдельно не выведены, испытывают всю обмотку по отношению к заземленному корпусу. При испытании один полюс источника испытательного напряжения подключают к заземленному корпусу двигателя.

Заземлять корпус двигателя необходимо; иначе при пробое изоляции обмоток он окажется под тем же электрическим потенциалом, что и полюс источника испытательного напряжения. Также на случай повреждения изоляции обмоток источника испытательного напряжения корпус его должен быть заземлен.

Испытания производят напряжением переменного тока промышленной частоты 50 *гц* с помощью специального трансформатора, имеющего устройство для регулировки напряжения и измерительную аппаратуру. На рис. 22 указана схема включения трансформатора. При отсутствии специального испытательного трансформатора могут быть использованы трансформаторы аппарата для испытания трансформаторного масла или от кенотронной испытательной установки. Схема включения этих трансформаторов приведена на рис. 23, где T_1 — испытательный трансформатор; T_2 — измерительный трансформатор, предназначенный для контроля величины испытательно-

го напряжения. Обмотки высокого напряжения этих трансформаторов соединены параллельно.

При пробое испытуемой изоляции обмотка высокого напряжения трансформатора окажется замкнутой накоротко, вследствие чего напряжение на ее выводах резко снизится. Также снизится напряжение, показываемое вольтметром V_2, и возрастет ток в амперметре A. В небольших испытательных установках для упрощения схемы и уменьшения количества трансформаторов и изме-

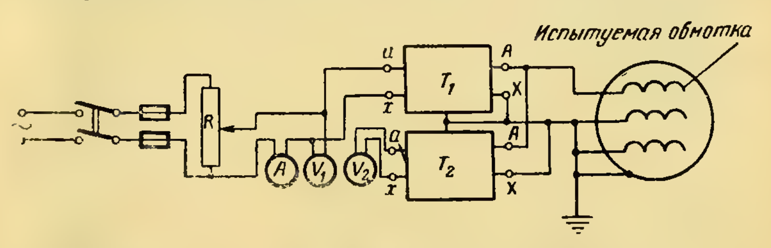


Рис. 23. Схема включения измерительных трансформаторов для испытания обмотки.

рительных приборов трансформатор T_2 и вольтметр V_2 не устанавливают. В этих случаях величину испытательного напряжения определяют по вольтметру V_1 умножением его показания на коэффициент трансформации испытательного трансформатора.

О повреждении, пробое изоляции судят по увеличению показаний амперметра и некоторому снижению показаний вольтметра.

Измерение испытательного напряжения до 3 *кв* допускается производить вольтметром с добавочным сопротивлением.

При испытании изоляции обмоток с номинальным напряжением 6 *кв* и выше для машин мощностью более 2 000 *ква* параллельно объекту испытания рекомендуется подключать шаровой разрядник с пробивным напряжением, не более чем на 10% превышающим испытательное напряжение. В цепь шарового разрядника должно быть включено сопротивление для ограничения тока короткого замыкания, возникающего при пробое разрядника.

Согласно требованиям ГОСТ испытание должно производится практически синусоидальным напряжением.

Таблица 6

Объект испытания	Мощность, *квт*	Номинальное напряжение, *в*	Испытательное напряжение		
			до укладки	после укладки, до пайки	после соединения и пайки
Статорные катушки	До 1 000	До 6 600	4 500 *в*+2,75 U	2 500 *в*+2,5 U	2 000 *в*+2,25 U
Роторные стержни асинхронных электродвигателей, втулки контактных колец	Реверсивные двигатели	До 2 400	3 000 *в*+4 $U_к$	2 000 *в*+4 $U_к$	1 500 *в*+4 $U_к$
	Нереверсивные двигатели		3 000 *в*+2 $U_к$	2 000 *в*+2 $U_к$	1 500 *в*+2 $U_к$
Статорные всыпные обмотки	До 1	До 500	—	1 000 *в*+2 U	750 *в*+2 U
	От 1 до 7	До 660	—	1 500 *в*+2 U	1 200 *в*+2 U
	От 10 до 100	До 660	—	2 000 *в*+2 U	1 700 *в*+2 U

Примечания: 1. Испытательные напряжения пазовой изоляции катушек, оставшихся в пазах, после удаления поврежденных катушек составляют 2 000 *в* для двигателей до 525 *в*, проработавших до 10 лет и 1 800 *в* для проработавших 10 лет и более; $2U$ для двигателей 3 *кв* и выше, проработавших до 10 лет и $1,7U$ для проработавших 10 лет и более.

2. Испытательные напряжения пазовой изоляции катушек, демонтированных из пазов, составляют 2 700 *в* для двигателей до 525 *в*, проработавших до 10 лет и 2 500 *в* для проработавших 10 лет и более; $2,7\,U$ для двигателей 3 *кв* и выше, проработавших до 10 лет и $2,5\,U$ для проработавших 10 лет и выше.

3. U — номинальное напряжение двигателя, *в*; $U_к$ — напряжение на кольцах при разомкнутом неподвижном роторе и номинальном напряжении на статоре, *в*.

Таблица 7

Электрическая машина или ее части	Мощность	Номинальное напряжение, *в*	Испытательное напряжение
Обмотка статора асинхронного двигателя	Менее 1 *квт* (или 1 *ква*)	Ниже 100	500 $в+2U$
	От 1 *квт* (или 1 *ква*) и выше	Ниже 100	1 000 $в+2U$
	До 1 000 *квт* (или 1 000 *ква*)	Выше 100	1 000 $в+2U$, но не менее 1 500 *в*
	От 1 000 *квт* (или 1 000 *ква*) и выше	Выше 100 до 3 300 вкл.	1 000 $в+2U$
	То же	Выше 3 300 до 6 600 вкл.	$2{,}5U$
	То же	Выше 6 600	3 000 $в+2U$
Обмотка ротора двигателя (фазового)	Любая	Любое	1 000 $в+2U_к$

Примечания: 1. Величина испытательного напряжения относится к машинам, полностью перемотанным на специализированных электроремонтных заводах (цехах) или на местах установки. При испытании после установки (перед сдачей в эксплуатацию) новых или полностью перемотанных на специализированном электроремонтном предприятии машин, электрическую прочность изоляции испытывают напряжением, равным 80% указанного в таблице.

2. U — номинальное напряжение двигателя, *в*; $U_к$ — напряжение на кольцах при разомкнутом неподвижном роторе и номинальном напряжении на статоре, *в*.

Поэтому питание испытательного трансформатора должно быть от линейного напряжения сети, а не от фазного, так как последнее более отличается от синусоидального, чем линейное. Следует также учесть, что емкость испытуемой обмотки искажает кривую напряжения тем значительней, чем сильней насыщена сталь испытательного трансформатора и чем меньше его мощность. Из этих соображений мощность испытательного трансформатора должна быть не менее 1 *ква* на каждый киловольт его напряжения. Если мощность одного трансформатора окажется недостаточной, следует включить параллельно два (или более) трансформатора, при этом обмотки низкого и высокого напряжений трансформаторов соединяют параллельно. Если же недостаточно напряжение одного трансформатора, то трансформаторы включаются последовательно (обмотки низкого напряжения трансформаторов соединятся параллельно, а обмотки высокого напряжения последовательно).

Испытания следует начинать при напряжении, составляющей около одной трети испытательного, затем плавно в течение не менее 10 *сек* надо производить подъем напряжения до полной величины испытательного напряжения. Последнее выдерживают в течение 1 *мин*, после чего его плавно снижают до одной трети и затем отключают. Испытуемую обмотку соединяют с корпусом электродвигателя и тем самым разряжают. Последнее необходимо потому, что при хорошем состоянии изоляции в ней сравнительно долго может сохраняться электрический заряд, и прикосновение к обмотке является опасным.

Испытательные напряжения, применяемые при межоперационном контроле при ремонте электродвигателей, приведены в табл. 6, а применяемые при приемно-сдаточных испытаниях для капитально отремонтированных и вновь вводимых в эксплуатацию электродвигателей, прошедших восстановительный ремонт или реконструкцию, — в табл. 7.

8. ИСПЫТАНИЕ МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

В обмотках двигателей переменного тока замыкание между витками является одним из самых серьезных дефектов, обычно приводящим к выходу двигателя из строя.

По наружному осмотру обычно невозможно распознать, имеются ли в катушках короткозамкнутые витки. Также, если число короткозамкнутых витков невелико, то это нельзя обнаружить измерением сопротивления при постоянном токе, так как это замыкание мало отражается на величине сопротивления всей фазы и его изменение может лежать в пределах допуска на отклонение сопротивления между фазами обмотки.

Вместо с тем при включении двигателя под нагрузку короткозамкнутые витки будут вести себя как замкнутая накоротко вторичная обмотка трансформатора с малым сопротивлением. Вследствие относительно большой величины проходящего тока перегревается медь (алюминий) и изоляция дефектных и прилегающих к ним витков.

Испытание витковой изоляции предусматривается ГОСТ 183-66 для собранных двигателей и производится после испытания на повышенную скорость вращения (если это испытание должно производиться). Подведенное напряжение повышают на 30% сверх номинального и выдерживают в течение 5 *мин*: у двигателей с фазовым ротором — при разомкнутой обмотке ротора, у короткозамкнутых двигателей — при холостом ходе.

У двигателей с разомкнутым и неподвижным фазовым ротором при подведении к обмотке статора трехфазного напряжения, повышенного на 30% сверх номинального, испытывают одновременно межвитковую изоляцию обмотки статора и межвитковую изоляцию обмотки ротора.

Однако у некоторых двигателей с фазовым ротором и малым числом полюсов при таком испытании потребляемый ток намного превосходит номинальное значение, что вызывает опасное повышение температуры обмотки статора, бандажей и т. д.; у таких машин допускается раздельное испытание межвитковой изоляции обмоток статора и ротора: сначала производят испытание для обмотки статора при замкнутом накоротко и вращающемся роторе повышением подведенного к обмотке статора напряжения до 130% номинального, а затем — для обмотки ротора при разомкнутой обмотке ротора и вращении с номинальной скоростью посторонним двигателем против направления вращения поля статора, подведением к обмотке статора напряжения, составляющего 65% номинального. При таком испытании наведенное

в обмотке ротора напряжение будет составлять 130% номинального.

Рекомендуемое ГОСТ 183-66 испытание все же недостаточно гарантирует надежность двигателя, так как при его эксплуатации могут иметь место перенапряжения, значительно более высокие. В связи с этим обмотку крупных двигателей высокого напряжения, которая не является всыпной, а изготовляется заранее, проверяют на отсутствие замыканий отдельно от двигателя в процессе и по окончанию ее изготовления.

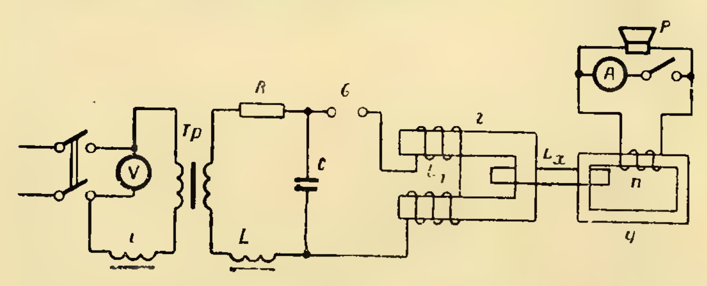


Рис. 24. Принципиальная схема установки для испытания катушек индукционным методом.

Следует отметить, что увеличение подключаемого к собранному двигателю напряжения нормальной частоты более чем на 30—50% практически невозможно, так как при этом недопустимо возрастает ток. Однако это оказывается возможным при применении напряжения высокой частоты, поскольку индуктивное сопротивление обмоток возрастает пропорционально частоте. Этим способом можно испытывать витковую изоляцию напряжением, в несколько раз превышающим рабочее, не превышая при этом номинального тока в обмотке. При этом напряжение, применяемое для витковой изоляции, не должно превышать испытательного напряжения для корпусной изоляции обмоток.

Если испытание производят на вращающейся машине, то согласно ГОСТ 183-66 повышение частоты не должно быть более 15%.

Для испытания витковой изоляции катушек до укладки их в пазы применяются установки, позволяющие возбуждать в них высокие напряжения индукционным методом при частоте 10—100 тыс. *гц*. Принципиальная схема такой установки указана на рис. 24.

Установка питается от повысительного трансформатора Tp, к первичной обмотке которого подводится регулируемое напряжение (от потенциал — регулятора); она состоит из колебательного контура — конденсатора C, индуктивности L, искрового разрядника G, катушки L_1, насаженной на сердечник z, и испытываемой катушки L_x. Сигнальное устройство состоит из сердечника y, катушки n, амперметра A и репродуктора P.

Принцип действия установки следующий: при подъеме напряжения потенциал-регулятором, когда напряжение на высокой стороне трансформатора и на заряжаемом конденсаторе C достигнет такой величины, при которой будет пробит искровой промежуток разрядника, конденсатор начнет разряжаться на катушку L_1. При разряде конденсатор и катушка L_1 образуют колебательный контур; во время действия электрической дуги в искровом промежутке разрядника в колебательном контуре будут происходить высокочастотные затухающие колебания тока, создающие в сердечнике z магнитный поток высокой частоты. Этот поток в свою очередь наведет в испытываемой катушке L_x затухающие напряжения высокой частоты.

Если в катушке L_x нет короткозамкнутых витков, то тока в ней не будет и в сердечнике y не будет возникать магнитный поток, а следовательно, и в катушке n не будет наводиться э. д. с. При наличии в катушке L_x короткозамкнутых витков или если замыкание витков произойдет в процессе испытания, в контуре катушки n возникнет ток. Отсутствие или наличие тока в катушке n фиксируется показаниями амперметра A (при включении расположенного рядом рубильника) и по отсутствию или наличию звука в репродукторе P.

Для проверки состояния витковой изоляции обмотки, уложенной в пазы, существует много приспособлений и аппаратов, начиная от самых примитивных — подковообразных электромагнитов и кончая современными электронными аппаратами типов ВЧФ, СМ и др. Аппараты типа СМ являются универсальными; помимо проверки уложенной обмотки на отсутствие витковых замыканий, они дают возможность производить ряд других проверок и испытаний, указанных ниже.

Обнаружение короткозамкнутых витков подковообразным электромагнитом, обмотка которого питается переменным током частотой 500 — 1 000 *гц*, производит-

ся при его передвижении по окружности статора (рис. 25). Если под электромагнитом, расположенным на зубцах, будет находиться короткозамкнутый виток, то в этом витке наведется э. д. с. и по нему пойдет ток, который можно обнаружить по звуку в телефоне или по дребезжанию пластины из тонкой жести, прикладываемой к зубцам статора, охваченным неисправной катушкой. При достаточном навыке пользование подковообразным электромагнитом позволяет безошибочно обнаружить дефекты в обмотке.

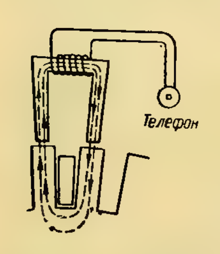


Рис. 25. Обнаружение короткозамкнутых витков подковообразным магнитом.

Аппараты типа СМ нашли широкое применение при эксплуатации и ремонте электродвигателей. Принцип действия аппарата, имеющего сложную, но вместе с тем и надежную схему, следующий.

К аппарату подсоединяются две обмотки, в которые поочередно посылаются импульсы напряжения высокой частоты. Если обмотки совершенно идентичны, т. е. одинаковы их полные сопротивления, то одинаковыми будут и импульсы тока. Это находит свое отображение на экране электроннолучевой трубки: соответствующие кривые, относящиеся к двум сравниваемым обмоткам, будут сливаться. Если же в одной из обмоток будет какой-либо дефект, отражающийся на величине ее сопротивления, например витковые замыкания, неправильное число витков, неправильное соединение параллельных ветвей и др., то импульсы токов, проходящих через эти обмотки, будут различны. На экране трубки будет уже не одна, а две кривые. В качестве примера приводится форма кривых для обмотки без дефектов (рис. 26) и для обмотки, имеющей витковые замыкания (рис. 27). Каждому дефекту соответствует своя форма кривой, которая позволяет при достаточном опыте определить характер неисправности в обмотке.

Аппараты СМ выпускаются трех типов СМ-1, СМ-2 и СМ-4. По своему назначению эти аппараты одинаковы. Принципиальные схемы аппаратов СМ-1 и СМ-2 одинаковы, но в аппарате СМ-2 установлена электроннолучевая трубка с меньшим экраном, размеры и вес его в полтора раза меньше, чем аппарата СМ-1, что делает его более транспортабельным. Однако четкость показа-

ний при наблюдении с большого расстояния у аппарата СМ-2 хуже, чем у аппарата СМ-1.

Аппарат СМ-4 несколько отличается от аппаратов СМ-1 и СМ-2 своей схемой. Кроме того, он не имеет вращающегося переключающего устройства.

Применение аппаратов типа СМ позволило значительно увеличить пропускную способность испытательных станций и участков. Аппарат СМ позволяет обнаружить в уложенной в пазы обмотке фазы имеющиеся



Рис. 26. Форма кривых для обмотки, не имеющей дефектов.

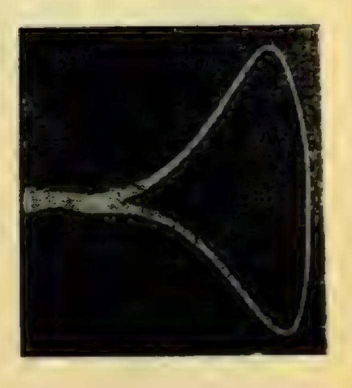


Рис. 27. Форма кривых для обмотки, имеющей витковые замыкаиия.

витковые замыкания, витковые металлические замыкания в изготовленных катушках до их укладки в пазы двигателя; позволяет найти пазы, в которых уложены катушки с короткозамкнутыми витками, проверить правильность соединения схемы обмотки, сопряжения фаз. С помощью аппарата СМ можно обнаружить обрыв в фазах и замыкание их на корпус, проверить одинаковое ли количество витков и одинаковое ли сечение провода в фазах, испытать на электрическую прочность витковую изоляцию обмоток двигателей низкого напряжения с эмалевой изоляцией проводов.

Надежные методы обнаружения дефектов изоляции и испытания электрической прочности витковой изоляции обмоток двигателей, находящихся в эксплуатации, а также при ремонтах двигателей, связанных с изготовлением и укладкой новой обмотки, стали возможными в результате создания аппаратуры, разработанной Всесоюзным электротехническим институтом (ВЭИ).

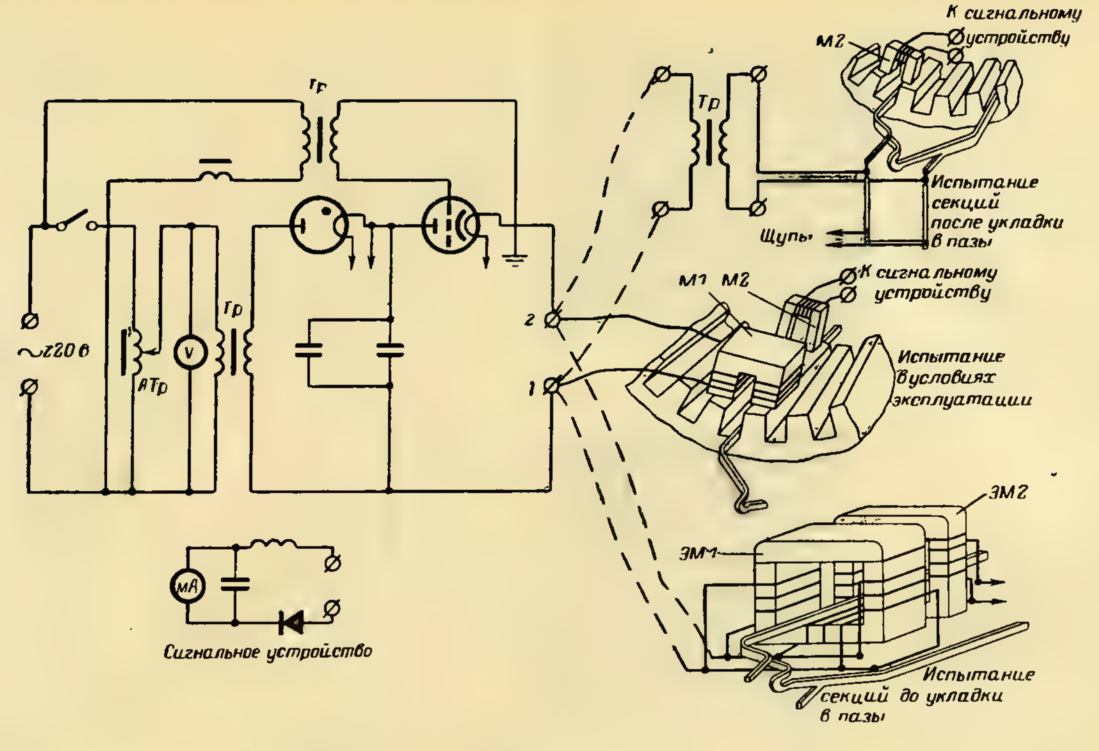


Рис. 28. Схема испытательной установки С-5П-ВЭИ.

Наиболее распространенным, применяемым многими ремонтными службами промышленных предприятий и электростанций, а также специализированными электроремонтными заводами, является аппарат типа С-5П-ВЭИ. Этот аппарат, состоящий из 9 блоков, может быть использован как стационарный и как переносный.

В эксплуатируемых электродвигателях, когда нет доступа к отдельным катушкам, аппаратом С-5П-ВЭИ можно испытывать изоляцию между витками напряжением до 0,5 *кв* на виток. В условиях ремонта в зависимости от числа витков в катушке испытательные напряжения могут быть доведены до 0,5—1 *кв* на виток — при обмотке уложенной в пазы и до 1,5 *кв* на виток — до их укладки в пазы.

Принципиальная схема аппарата приведена на рис. 28. Для испытания витковой изоляции отдельных катушек до их укладки в пазы их закладывают в замкнутые электромагниты *ЭМ1* и *ЭМ2*. Через зажимы аппарата *1* и *2* к обмотке *ЭМ1* подводят высокое импульсное напряжение, а к обмотке *ЭМ2* подключают сигнальное устройство. Импульсный ток, проходящий по обмотке *ЭМ1*, создает в его магнитопроводе магнитный поток, который наводит напряжение в витках испытуемой катушки. Если в катушке нет короткозамкнутых витков, то ток в ней проходить не будет (концы катушки разомкнуты) и вокруг катушки не будет магнитного поля. Естественно также, что в магнитопроводе *ЭМ2* не будет магнитного потока, в его обмотке не наведется э. д. с. и не будет проходить ток. Таким образом, показания миллиамперметра сигнального устройства будут близки к нулю. Небольшое отклонение стрелки прибора на одно-два деления происходит из-за полей рассеяния и полей, вызванных емкостным током катушки.

В случае, если в катушке имеются короткозамкнутые витки или замыкание витков произошло при испытании, то по этим виткам потечет ток, который создаст вокруг катушки магнитное поле. Часть магнитного поля, проходя по магнитопроводу *ЭМ2*, наводит в его обмотке э. д. с. и по ней потечет ток, что и будет фиксироваться миллиамперметром сигнального устройства.

Регулирование испытательного напряжения производят автотрансформатором *АТр*.

При ремонте испытание витковой изоляции катушек, уложенных в пазы, производят импульсным напряже-

нием через повысительный трансформатор *Тр.* Напряжение подводят к концам катушек специальными щупами.

При испытании П-образный электромагнит *М2* устанавливают на зубцах статора на одной из сторон испытуемой катушки. К концам обмотки *М2* подключают сигнальное устройство. При испытании катушек, не имеющих короткозамкнутых витков, по ним будет проходить импульсный ток, создающий вокруг катушки магнитное поле. Часть магнитного потока, проходя по магнитопроводу *М2,* наведет в его обмотке э. д. с. и по ней пойдет ток, что и будет фиксироваться миллиамперметром сигнального устройства. В случае же, если в катушке имеются короткозамкнутые витки, то проходящий по этим виткам ток короткого замыкания создаст вокруг катушки размагничивающий магнитный поток (подобно вторичной обмотке трансформатора). Поэтому результирующий поток, проходящий через магнитопровод *М2,* и ток, регистрируемый миллиамперметром сигнального устройства, будут значительно меньше, чем при испытании катушек, не имеющих витковые замыкания.

Испытание витковой изоляции обмотки двигателей, находящихся в эксплуатации, производят двумя П-образными электромагнитами *М1* и *М2,* расположенными на зубцах статора над одной из сторон испытуемой катушки. Через зажимы аппарата *1* и *2* к обмотке *М1* подводят высокое импульсное напряжение, а к обмотке *М2* подключают сигнальное устройство. Ток, проходящий через обмотку *М1,* создает магнитный поток, проходящий через магнитопровод и активную сталь статора. Этот поток наводит в витках испытуемой катушки импульсное напряжение. Величину напряжения регулируют автотрансформатором *АТр.*

При отсутствии замыканий между витками по ним не будет проходить ток и вокруг катушек магнитного поля не будет. Поэтому в магнитопроводе *М2* не будет магнитного потока, в его обмотке не будет наводиться э. д. с., что и будет фиксироваться миллиамперметром сигнального устройства. В том случае, если в катушке имеются короткозамкнутые витки, то проходящий по этим виткам ток создает вокруг катушек магнитное поле. Часть магнитного потока, проходя по магнитопроводу *М2*, наведет в его обмотке э. д. с. и по ней пойдет ток, что и будет фиксироваться миллиамперметром сигнального устройства.

Рекомендуемые испытательные напряжения для витковой изоляции при изготовлении катушек до их укладки в пазы приведены в табл. 8.

Таблица 8

Тип витковой изоляции	Испытательное напряжение на один виток, *в*
Провод ПБД, ПСД, ПЭТВП, ПЭВППИ	300
Провод ПСД, ПБД с прокладками между витками толщиной 0,2 *мм*	500
Провод голый, изолированный одним слоем микаленты 0,13 *мм* в полнахлеста	800
Провода ПБД, ПСД, ППТБО, ППЛБО, дополнительно изолированные одним слом микаленты 0,13 *мм* в 1/3 нахлеста	1 400

После укладки в пазы испытательные напряжения снижают на 20—25%.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ

Коэффициент трансформации определяют у асинхронных двигателей с фазовым ротором. При неподвижном разомкнутом роторе и включенной обмотке статора асинхронный двигатель можно рассматривать как трансформатор, первичной обмоткой которого является обмотка статора, а вторичной — обмотка ротора; коэффициент трансформации составляет:

$$k_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{р}}} = \frac{w_{\text{эфф.с}}}{w_{\text{эфф.р}}},$$

где $U_{\text{с}}$ — фазное напряжение обмотки статора, *в*; $U_{\text{р}}$ — фазное напряжение обмотки ротора, *в*; $w_{\text{эфф.с}}$ — число эффективных (последовательно соединенных) витков в фазе обмотки статора; $w_{\text{эфф.р}}$ — число эффективных витков в фазе обмотки ротора.

Согласно ГОСТ 7217-66 к электродвигателям с номинальным напряжением до 660 *в* к обмотке статора при измерении коэффициента трансформации подводится

номинальное напряжение, а к электродвигателям с номинальным напряжением свыше 660 *в* допускается подводить пониженное напряжение.

Напряжение, наведенное в обмотке ротора, замеряют на его контактных кольцах игольчатыми щупами.
Из приведенного выше соотношения следует:

$$U_{р} = U_{с} \frac{w_{эфф.р}}{w_{эфф.с}},$$

Если величина $U_{с}$ определена достаточно точно и нет сомнений в правильности числа эффективных витков обмотки статора $w_{эфф.с}$, то пониженное значение коэффициента трансформации может быть вызвано заниженным против расчетного количеством эффективных витков обмотки ротора, замыканием между витками, неправильным соединением катушек в фазе (например, при параллельном соединении катушек вместо последовательного) или неправильным соединением фаз между собой. Кроме того, некоторое понижение напряжения ротора может быть вызвано падением напряжения из-за намагничивающего тока в активном сопротивлении обмотки статора.

Так как в роторе, обмотка которого соединена в звезду, нулевая точка, как правило, недоступна и очень часто обмотка статора имеет глухое соединение фаз, то приходится удовлетворяться замером линейных напряжений с их последующим пересчетом на фазные. При этом пересчете следует учитывать, что в некоторых электродвигателях старых выпусков применялись двухфазные обмотки роторов, при которых одно из напряжений между кольцами в $\sqrt{2}$ раз больше, чем два других. В этом случае два меньших напряжения между кольцами представляют собой фазные напряжения.

При определении коэффициента трансформации за величину $U_{с}$ принимают среднеарифметическое значение напряжений фаз обмотки статора, а за величину $U_{р}$ среднеарифметическое значение напряжений фаз ротора. При этом разность между отдельными напряжениями фаз ротора не должна превышать 1% их средней величины. Повышенное отклонение от среднего значения свидетельствует о несимметрии фаз ротора. При стержневой обмотке это обычно бывает при ошибочном включении части стержней не в ту фазу. При катушечной обмотке — при разном числе витков в катушках.

При проведении опыта необходимо учитывать, что величина напряжения ротора может быть весьма велика (больше напряжения статора) и величина коэффициента трансформации в отдельных случаях в электродвигателях низкого напряжения может быть меньше единицы. Поэтому все измерения следует проводить с соблюденинием правил техники безопасности.

Измерение коэффициента трансформации может быть применено также для проверки исправности обмотки статора. При этом первичной обмоткой является обмотка ротора, к ней подключается напряжение, обычно регулируемое в пределах от нуля до номинальной величины напряжения ротора. Вторичной обмоткой является обмотка статора, в которой наведенное напряжение замеряется на выводах. И в этом случае заметное отклонение значений фазных напряжений обмотки статора от их средней величины является признаком неисправности.

Если обмотка ротора является как бы первичной обмоткой, а обмотка статора вторичной обмоткой трансформатора, то падение напряжения от намагничивающего тока имеет место в активном сопротивлении обмотки ротора и коэффициент трансформации $k_т = U_с / U_р$ оказывается несколько заниженным.

Поэтому если один раз определить коэффициент трансформации асинхронного двигателя, питая его со стороны статора, а второй раз, питая его со стороны ротора, то в первом случае, как правило, коэффициент трансфомации будет несколько выше.

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА И ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА

Ток и потери холостого хода позволяют определить к. п. д. и коэффициент мощности электродвигателя при холостом ходе ($\cos \varphi_0$). Ток холостого хода не является нормируемой величиной, но многолетней практикой электромашиностроения и электроремонта установлены его предельные значения, приведенные на рис. 29 и рис. 30.

Измерение тока и потерь холостого хода после ремонта и сравнение их с соответствующими данными до ремонта позволяет обнаружить некоторые нарушения при ремонте.

Увеличение тока и потерь холостого хода может быть вызвано укладкой в пазы меньшего числа эффективных витков или при недоборе листов при перешихтовке стали сердечника, а также при аксиальном смеще-

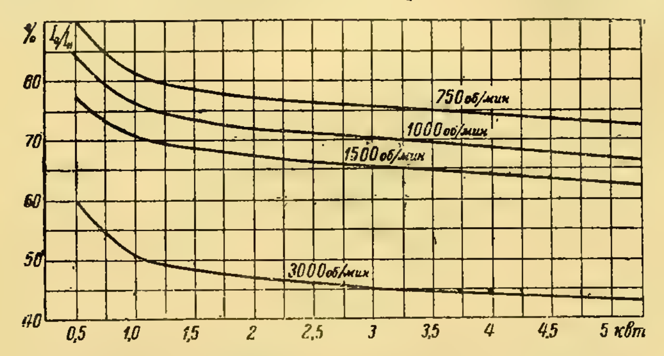


Рис. 29. Кривые предельных значений тока холостого хода трехфазных асинхронных двигателей мощностью до 5 *квт*.

нии ротора по отношению к статору; увеличение тока холостого хода при сохранении потерь холостого хода может быть следствием увеличения воздушного зазора;

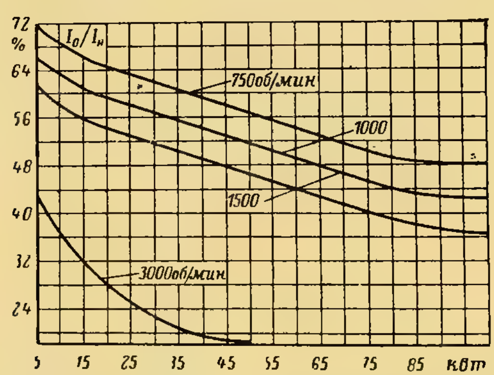


Рис. 30. Кривые предельных значений тока холостого хода трехфазных асинхронных двигателей мощностью 5—100 *квт*.

увеличение потерь холостого хода при сохранении тока холостого хода может иметь место из-за механических причин, например при повышенном трении в подшипниках, плохой сборке и др.

Под холостым ходом подразумевают работу электродвигателя, подключенного к сети и не соединенного с каким-либо механизмом.

В электродвигателях с фазовым ротором при опыте холостого хода обмотку ротора замыкают накоротко на кольцах. Подводимое к статору напряжение должно быть практически симметричным и номинальной частоты.

Перед опытом холостого хода электродвигатель должен быть обкатан — поработать без нагрузки в течение времени необходимого для того, чтобы тепловое состояние электродвигателя было установившимся. В соответствии с ГОСТ 11828-66 для двигателей с подшипниками качения это время при испытаниях после ремонта должно составлять при мощности электродвигателя:

До 1 *квт*	5 *мин*
От 1 до 10 *квт*	15 *мин*
От 10 до 100 *квт*	30 *мин*
От 100 до 1 000 *квт*	1 *ч*
Свыше 1 000 *квт*	2 *ч*

Характеристики холостого хода представляют собой зависимости линейного тока I_0 и потерь холостого хода P_0 от приложенного напряжения U_0. Величина P_0 является разностью между подводимой мощностью P_1 и потерями в измерительных приборах.

Для проведения опыта собирается схема, показанная на рис. 31. Потенциометр *2* устанавливают в выведенное положение, включают рубильник *1* и поднимают напряжение до 130% номинального. Вслед за тем потенциометром снижают напряжение U_0 ступенями: до 120% 110%, 100%, 90% номинального и т. д., записывая показания приборов (амперметров *3*, ваттметров *4* и вольтметров *5*) на каждой ступени.

Как указано на рис. 31, измерение подводимой мощности производится по схеме двух ваттметров, мощность определяется как алгебраическая сумма показаний этих ваттметров. Показания ваттметров одинаковы при $\cos\varphi=1$. При $\cos\varphi=0{,}5\div1$ эти показания различаются между собой, а при $\cos\varphi=0{,}5$ стрелка одного из ваттметров не дает отклонений. Если же $\cos\varphi$ меньше 0,5, то стрелка одного ваттметра отклоняется в обратную сторону и для отсчета необходимо переключить обмотку напряжения ваттметра на обратное направление (поме-

нять местами начало и конец обмотки). У лабораторных ваттметров для этого имеется специальный переключатель. При значениях $\cos\varphi = 0{,}5 \div 1$ измеряемая мощность равна арифметической сумме показаний обоих ваттметров, а при $\cos\varphi$ меньше 0,5 — разности показаний ваттметров. Соотношение показаний ваттметров при разных коэффициентах мощности приведено на рис. 32.

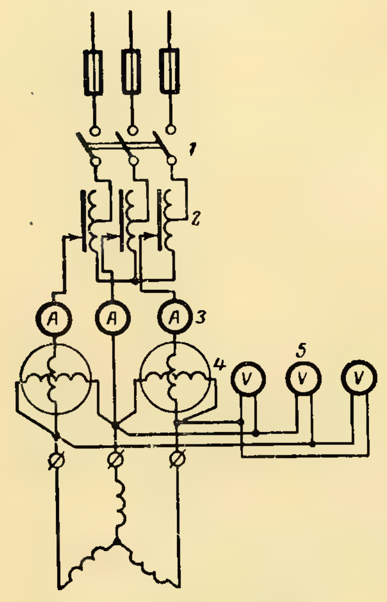


Рис. 31. Схема для опыта холостого хода.

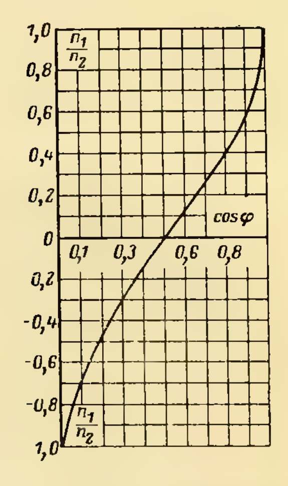


Рис. 32. Определение $\cos\varphi$ по отношению показаний двух ваттметров.

Опыт холостого хода рекомендуется проводить при номинальной частоте $f_н$. Если же во время опыта частота будет отличаться от номинальной и составлять f, то за расчетную величину приложенного напряжения следует принимать U'_0:

$$U'_0 = U_0 \frac{f_н}{f_н + \Delta f},$$

где $\Delta f = f - f_н$.

Когда частота при опыте меньше номинальной, величина Δf отрицательная и в знаменателе дроби следует ставить перед Δf знак «минус».

Коэффициент мощности при опыте холостого хода составляет:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_0 I_0}.$$

Для контроля коэффициент мощности определяют по кривой на рис. 32. Совпадение результатов указывает на правильность измерений.

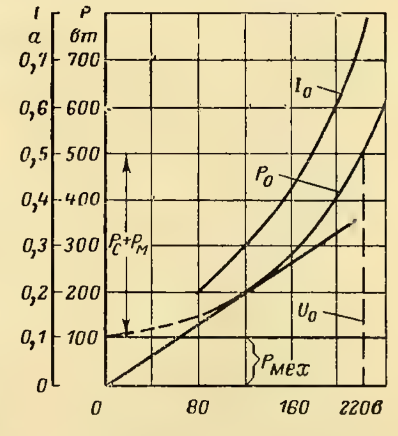


Рис. 33. Пример построения характеристики холостого хода.

На основании данных замеров строят характеристику холостого хода (рис. 33).

Потери холостого хода слагаются из потерь в обмотке статора $P_м$ и суммы потерь в стали P_c и механических потерь $P_{мех}$:

$P_м = 3I_0^2 R$, *вт* — при соединении фаз в звезду,

$P_м = I_0^2 R$, *вт* — при соединении фаз в треугольник,

где R — сопротивление при постоянном токе одной фазы.

Сумма P_c и $P_{мех}$ определяется как разность между потерями холостого хода P_0 и потерями в обмотке, т. е.

$$P_c + P_{мех} = P_0 - P_м.$$

Для того чтобы отделить потери в стали и в обмотке от механических потерь, следует построить кривые зависимостей суммы потерь в стали, в обмотке и механических потерь от приложенного напряжения. Экстраполяция (продолжение) нижней прямолинейной части этой зависимости отсекает на оси ординат механические потери. Также можно пользоваться следующим приближенным способом: через начало координат провести касательную линию к кривой P_0 и замерить ординату в точке касания. Половина ординаты соответствует (в масштабе потерь) механическим потерям.

Если опыт холостого хода проводят при частоте, отличающейся от номинальной (не более чем на $\pm 2\%$), то потери в стали и механические потери корректируют по

следующим приближенным формулам:

$$P'_{c} = P_{c} \frac{f_{н}}{f_{н} + 1{,}5\Delta f};$$

$$P'_{мех} = P_{мех} \frac{f_{н}}{f_{н} + 2\Delta f}.$$

Касаясь схемы, приведенной на рис. 31, следует указать, что при больших токах и высоком напряжении подключение приборов приходится производить через трансформаторы тока и напряжения. Однако в связи с тем, что при измерении $\cos\varphi_0$ очень низок, а потребляемый ток в несколько раз меньше номинального тока электродвигателя, не рекомендуется пользоваться обычными трансформаторами тока, так как это может привести к очень большой угловой погрешности трансформаторов. Для большей точности результатов при опыте холостого хода следует применять специальные измерительные трансформаторы, а также специальные малокосинусные ваттметры.

11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА И ПОТЕРЬ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

При опыте короткого замыкания проверяют состояние паяных соединений обмоток, а также качество заливки короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей. Результаты опыта позволяют определить начальный пусковой ток и начальный вращающий момент электродвигателя, которые являются важными эксплуатационными параметрами.

Опыт короткого замыкания производят при заторможенном роторе. В электродвигателях с фазовыми роторами обмотку ротора замыкают накоротко на кольцах.

При заторможенном роторе к статору подводят практически симметричное напряжение номинальной частоты.

Вращающий момент для электродвигателей мощностью до 100 *квт* измеряют динамометром, весами, тормозом или специальными приборами. Так как этот момент может несколько изменяться в зависимости от положения ротора по отношению к статору, то измерения производят несколько раз, сдвигая ротор на одно зубцовое деление, и в качестве результата принимают наименьший из замеренных моментов. Для двигателей мощностью

свыше 100 *квт* вращающий момент обычно определяют расчетным путем, по результатам измерения потерь короткого замыкания.

Необходимо учитывать, что при проведении опыта электродвигатель является трансформатором, вторичная обмотка которого (обмотка ротора) замкнута накоротко. Ток, проходящий по обмоткам, может в несколько раз превысить номинальный, а так как двигатель при неподвижном роторе не вентилируется, то его обмотка очень быстро нагревается и необходимые отсчеты по приборам и сам опыт надо производить с максимально возможной быстротой. Следует обратить серьезное внимание на надежность устройств, служащих для затормаживания ротора, так как при проведении опыта они испытывают значительные усилия. Направление вращения ротора должно быть определено заранее и, сообразуясь с ним, устанавливают затормаживающие устройства. При ошибке эти устройства могут сорваться и нанести повреждения персоналу.

Опыт короткого замыкания обычно производят сразу после опыта холостого хода. Характеристика короткого замыкания представляет собой зависимость линейного тока короткого замыкания $I_к$ и потерь короткого замыкания $P_к$ от приложенного к статору напряжения $U_к$.

Для проведения опыта собирается схема, аналогичная схеме при опыте холостого хода (рис. 31). При опыте рекомендуется двигатель включать на напряжение, составляющее 15—20% номинального, затем быстро поднимать его до требуемой величины. При типовом испытании следует произвести 5—7 отсчетов при разных значениях подводимого напряжения. Первый отсчет берут при наибольшем напряжении. Отсчеты по приборам при каждом значении подведенного напряжения производят за время не более 10 *сек* во избежание чрезмерного нагрева обмотки током короткого замыкания. После каждого отсчета двигатель отключают.

При типовом испытании двигателя мощностью до 100 *квт* опыт проводят, начиная с напряжения, отличающегося от номинального не более чем на ±10%. Типовое испытание короткозамкнутых двигателей мощностью свыше 100 *квт* допускается производить при напряжениях, меньших номинального, но при таких, чтобы максимальное значение тока короткого замыкания было не ниже 2,5—4-кратного от номинального. При испытании корот-

козамкнутых двигателей мощностью свыше 1 000 *квт*, а также при испытании двигателей с фазовым ротором допускается доводить ток только до 2-кратного от номинального.

Во всех случаях требуется один из отсчетов произвести при напряжении, указанном в табл. 9.

Таблица 9

Номинальное напряжение двигателя, *в*	Напряжение короткого замыкания, *в*
127	33
220	58
380	100
500	130
600	173
3 000	800
6 000	1 600

ГОСТ 7217-66 рекомендует при контрольных испытаниях ток и потери короткого замыкания определять только при одном напряжении — согласно табл. 9 с последующим пропорциональным пересчетом тока короткого замыкания на номинальное напряжение двигателя. Потери в этом случае пересчитывают пропорционально квадрату тока. На основании данных замеров строится характеристика короткого замыкания (рис. 34).

Так же как и при опыте холостого хода, измерение подводимой мощности производится по схеме двух ваттметров. Однако корректировка подводимой мощности на потерю в приборах не производится, так как эти потери обычно лежат ниже уровня погрешности измерения.

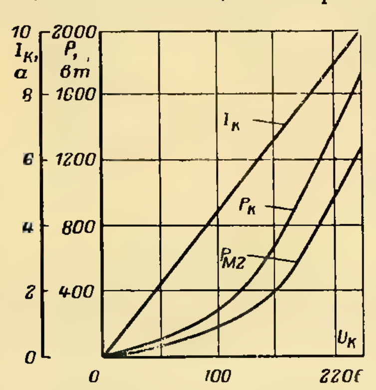


Рис. 34. Пример построения характеристики короткого замыкания.

Коэффициент мощности при опыте короткого замыкания составляет:

$$\cos\varphi_к = \frac{P_к}{\sqrt{3}U_к I_к}.$$

Контроль правильности определения производят по кривой, приведенной на рис. 32.

Для двигателей мощностью выше 100 *квт*, у которых вращающий момент при коротком замыкании определяется расчетным путем, следует при этом определении пользоваться формулой

$$M_к = 0{,}975\,\frac{P_{к.м2}}{n_с},$$

где $P_{к.м2}$ — потери в обмотке ротора при опыте короткого замыкания, *квт*; $n_с$ — скорость вращения (синхронная), *об/мин.*

Потери в обмотке ротора составляют:

$$P_{к.м2} = P_к - P_{к.м1} - P_с,\ квт,$$

где $P_{к.м1}$ — потери в обмотке статора при опыте короткого замыкания, *квт*, равные: $P_{к.м1} = 3I^2_к R/1\,000$ — при соединении фаз в звезду; $P_{к.м1} = I^2_к R/1\,000$ — при соединении фаз в треугольник, где R — сопротивление при постоянном токе одной фазы, *ом*; $P_с$ — потери в стали, взятые из опыта холостого хода, при напряжении, равном напряжению короткого замыкания.

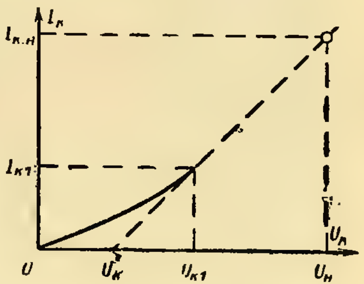


Рис. 35. Графический способ определения тока короткого замыкания при номинальном напряжении.

Для случаев, когда опыт короткого замыкания произведен при напряжении меньше номинального, определение тока короткого замыкания производят следующим образом: проводят касательную к кривой короткого замыкания в точке, соответствующей максимально замеренному значению (рис. 35). Если эта касательная пересекает ось абсцисс в точке $U'_к$, то ток короткого замыкания $I_{к.н}$ при номинальном напряжении, называемый *начальным пусковым током*, определяется по формуле

$$I_{к.н} = \frac{U_н - U'_к}{U_{к1} - U'_к}\,I_{к1},\ a,$$

где $I_{к1}$ и $U_{к1}$ — соответственно наибольшие ток и напряжение, измеренные в процессе опыта; $U_н$ — номинальное напряжение, *в*.

Вращающий момент при коротком замыкании, соответствующий номинальному напряжению, называется *начальным пусковым вращающим моментом*

$$M_{к.н} = M_{к1} \left(\frac{I_{к.н}}{I_{к1}} \right)^2,$$

где $M_{к1}$ — вращающий момент при наибольшем напряжении опыта короткого замыкания.

Следует отметить понятия *кратность начального пускового тока и кратность начального пускового вращающего момента,* определяемые как отношение начального пускового тока или начального пускового вращающего момента соответственно к номинальному току двигателя или к номинальному вращающему моменту. Обе эти величины являются нормированными и приводятся в стандартах на соответствующие двигатели.

Во время проведения опыта короткого замыкания на пониженном напряжении, представляется удобная возможность проверить исправность обмотки короткозамкнутого ротора. Это особенно важно для роторов с литыми алюминиевыми обмотками, в которых часто встречаются пороки литья, пузыри, трещины, обрывы стержней, которые трудно обнаружить при наружном осмотре.

Проверка заключается в том, что при включении обмотки статора на трехфазное напряжение, пониженное настолько, что ротор еще не вращается, а ток настолько мал, что не вызывает заметного перегрева обмоток, ротор медленно проворачивают вручную и следят за показанием трех амперметров, включенных в фазы статора.

Если обмотка ротора исправна, его проворачивание не вызывает изменение показаний амперметров; при неисправном роторе стрелки амперметров поочередно колеблются тем заметнее, чем неисправность больше.

12. ИСПЫТАНИЕ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

Это испытание производят только при сдаточных испытаниях отремонтированных асинхронных двигателей с фазовым ротором и только в случае ремонта или замены бандажей. Испытание производят для

проверки прочности вращающихся частей от действия центробежных сил; в основном проверяют качество бандажей, стягивающих лобовые части обмотки ротора.

Согласно ГОСТ 183-66 двигатели должны выдержать без повреждений и остаточных деформаций повышение скорости вращения на 20% сверх номинальной в течение 2 *мин.* (Специальные электродвигатели, крановые, металлургические подвергаются более серьезным испытаниям, предусмотренным в ГОСТ). Повышение скорости вращения двигателя можно осуществить разными способами; наиболее простой — от другого двигателя с помощью ременной передачи и шкивов нужного диаметра или с помощью редуктора.

При испытании необходимо принять меры безопасности — удалить из опасной зоны на время испытания всех людей и предметы, которые могут пострадать от разлетающихся обрывков бандажей ротора. Впрочем для обычных конструкций закрытых и защищенных двигателей разрыв роторных бандажей локализуется внутри корпуса машины. Повышение скорости вращения следует производить плавно; также плавно следует понижать скорость до полной остановки по истечении срока испытания, что проще всего осуществить отключением питания приводного двигателя.

Не следует измерять повышенную скорость вращения ручным тахометром непосредственно на валу испытуемого двигателя, так как это подвергает измеряющего опасности. Рекомендуется использовать всякого рода дистанционные измерители или вибрационные частотомеры, располагаемые на щите или укрепленные на корпусе испытываемого двигателя (показания таких частотомеров с помощью бинокля видны с большого расстояния).

После окончания испытания должен быть произведен тщательный осмотр машины, измерено биение контактных колец и т. д.

13. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

При ремонте и эксплуатации двигателей измерение температуры частей двигателя, а также охлаждающего воздуха производят термометрами, термопарами и термосопротивлениями, а также измерением их сопротивления при постоянном токе.

Термометры применяют для измерения температуры доступных мест двигателя — поверхностей корпуса

и подшипников, лобовых частей обмотки и др., а также для измерения температуры окружающей среды и охлаждающего воздуха, поступающего и выходящего из двигателя. Применяют как ртутные, так и спиртовые термометры. Вблизи сильных переменных магнитных полей следует применять только спиртовые термометры. Применение ртутных термометров в этих случаях противопоказано, так как в ртути наводятся вихревые токи, искажающие результаты замера.

Следует отдать предпочтение так называемым палочным толстостенным термометрам, имеющим цилиндрическую форму и сравнительно небольшие размеры по высоте и, что очень важно, по диаметру (6—7 *мм*). Это делает возможным установку этих термометров в труднодоступных местах. Не рекомендуется пользоваться хвостовыми термометрами, где ртуть или спирт помещается в тонком, длинном резервуаре на его конце. Эти термометры дают правильные показания только при полном погружении резервуара в среду, температура которой измеряется (масло, вода, воздух), а не при прикосновении к твердым предметам (корпус двигателя, лобовые части обмотки и др.).

Для лучшей передачи тепла от нагретого места к термометру резервуар термометра обертывают фольгой (очень тонким листовым алюминием или свинцом) таким образом, чтобы получился комок, который затем плотно прижимают к нагретому месту. Для теплоизоляции термометра поверх фольги накладывают слой ваты или войлока, но так, чтобы последний не попал между термометром и нагретой частью электродвигателя. При измерении температуры охлаждающего воздуха (охлаждающей среды) термометр следует поместить в закрытый металлический стаканчик, заполненный маслом, защищающий термометр от конвекционных потоков воздуха.

Термопары являются удобными и широко применяемыми датчиками (индикаторами) температуры. С их помощью можно контролировать температуру труднодоступных мест двигателя в сердечниках стали и в пазовой части обмотки.

Термопару образуют две изолированные друг от друга проволоки из разных материалов; материалы выбирают в зависимости от величины измеряемой температуры. Для измерения температур в электрических машинах обычно применяют медно-константановые термопары, состоящие

из медной и константановой проволок диаметром около 0,5 *мм*. Одна пара концов термопары спаяна между собой. Место спая обычно помещают в ту точку, где желают измерить температуру («горячий» спай), а другую пару концов подключают либо непосредственно к зажимам чувствительного милливольтметра с большим внутренним сопротивлением, либо к переходной клеммной доске, от которой отходят медные проводники к измерительному прибору. В том месте, где ненагреваемый конец

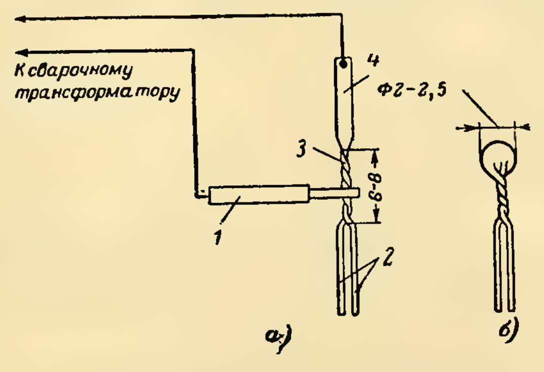


Рис. 36. Сварка концов термопары.

а — процесс сварки; *б* — головка термопары; *1* — плоскогубцы с изолированными ручками; *2* — провода термопары; *3* — скрутка; *4* — угольный электрод.

константановой проволоки соединяется с медным проводником (на клемме измерительного прибора или на переходной клемме), образуется так называемый «холодный» спай термопары.

На поверхности контакта двух металлов (константана и меди) возникает э. д. с., по величине пропорциональная температуре в месте контакта, причем на константане образуется *минус* (—) и на меди *плюс* (+). Само собой понятно, что э. д. с. возникает как на «горячем» спае, так и на «холодном» спае термопары, однако поскольку температуры этих спаев разные, то и э. д. с. имеют разную величину; кроме того, в контуре, образованном термопарой и измерительным прибором, эти э. д. с. направлены навстречу друг другу, поэтому милливольтметр всегда измеряет разность э. д. с. «горячего» и «холодного» спаев, которая соответствует разности их температур.

Если «горячий» спай медно-константановой термопары нагреть до 100° С, а «холодный» спай поместить в среду, температура которой 0° С, то величина результирующей э. д. с. составит 4,16 *мв.* При уменьшении разности температур э. д. с. будет снижаться пропорционально этой разности. Из этого следует, что э. д. с. медно-константановой термопары составляет 0,0416 *мв* на 1° С разности температур «горячего» и «холодного» спаев. В соответствии с этим можно отградуировать и шкалу милливольтметра непосредственно в градусах Цельсия.

Так как термопара фиксирует только разность температур между «горячим» и между «холодным» спаями, то для определения абсолютной температуры «горячего» спая следует к показаниям термопары по милливольтметру (выраженным в градусах), прибавить температуру «холодного» спая, обычно замеряемую термометром.

Термопары изготовляют обычно своими силами; проволоки скручивают между собой на длине 6—8 *мм* и после их тщательной зачистки спаивают чистым оловом или сваривают.

При сварке (рис. 36, *а*) скрученные и зачищенные концы захватывают плоскогубцами с изолированными ручками. Напряжение от трансформатора 12 *в* подводят к ручке плоскогубцев и к угольному электроду. При прикосновении электрода к скрутке, концы проволок оплавляются, образуя шариковую головку, как это указано на рис. 36,*б*. При надобности эту головку в горячем виде проковывают легкими ударами молотка; при этом образуется плоская лопатообразная головка термопары. Такие термопары применяют для измерения температуры сердечников стали, для чего листы сердечника раздвигают ножом и в образовавшуюся щель плотно вставляют головку термопары. Место закладки термопары должно быть надежно защищено от конвекционных потоков воздуха.

Для измерения температуры в пазовой части обмотки термопары закладывают при двухслойной обмотке между верхними и нижними сторонами катушек, а при однослойной обмотке — между клином и катушкой. В первом случае при укладке обмоток термопару помещают в междуслойную пазовую прокладку, во втором случае в желобке, вырезанном во внутренней стороне пазового клина.

Как правило, в двигатель закладывают несколько термопар[1] для измерения различных частей двигателя, которые поочередно подключаются к одному милливольтметру с помощью переключателя или штепсельной вилки (рис. 37).

Порядок градуировки милливольтметра с термопарами имеет существенное значение для точности измерения.

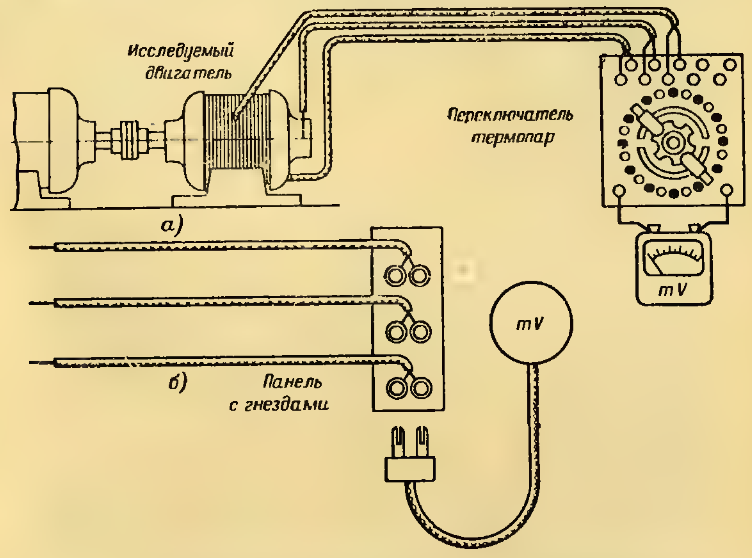


Рис. 37. Измерение температуры термопарами.
а — по схеме с переключателем; *б* — по схеме со штепсельной вилкой.

Необходимо помнить, что отклонение стрелки милливольтметра зависит от внутреннего сопротивления и падения напряжения в контуре термопары. Когда милливольтметр подсоединяют только к одной термопаре, его градуировка не вызывает затруднений и производится, как указано ниже. Если к милливольтметру подсоединяют через переключатель несколько термопар, которые часто имеют разные внутренние сопротивления, градуировка усложняется. В этом случае приходится либо

[1] В соответствии с ГОСТ 11828-66 для электрических машин мощностью до 10 *квт* (*ква*) устанавливают один термометр или температурный индикатор, для машин мощностью от 10 до 100 *квт* (*ква*) включительно—не менее двух, для машин от 100 до 1 000 *квт* (*ква*)— не менее трех и для машин мощностью свыше 1 000 *квт* (*ква*) — не менее четырех.

градуировать милливольтметр с каждой термопарой в отдельности и строить для каждой термопары свою градуировочную кривую, либо уравнивать внутренние сопротивления термопар, чтобы получить единую градуировку.

Для равенства сопротивления всех термопар, подключаемых к одному милливольтметру, необходимо изготовить их из одной партии проволоки с равной длиной концов. Помимо этого термопары должны быть выверены между собой. Для взаимной выверки все «горячие» спаи термопар погружают в закрытый сосуд с нагретым до 70—80° С маслом и быстрым переводом ручки переключателя определяют, какая из термопар дает максимальные показания на милливольтметре, и эту термопару принимают за контрольную. Вслед за тем концы термопар, показания от которых меньше, укорачивают таким образом, чтобы показания от них на милливольтметре сравнялись с показанием контрольной термопары.

Для градуировки термопар с милливольтметром их «горячие» спаи погружают в сосуд с маслом, нагретым до 100° С. Для измерения температуры масла в сосуд погружают также термометр. «Холодные» спаи термопар погружают в сосуд с тающим льдом. При медленном охлаждении масла через каждые 5—10° С записывают показания милливольтметра до тех пор, пока температура масла в сосуде не сравняется с температурой охлаждающего воздуха. На основании записей температуры масла и показаний милливольтметра строят градуировочную кривую.

В тех случаях, когда при измерении стремятся определить не абсолютную температуру в тех местах, где заложены «горячие» спаи термопар, а превышение их температуры над температурой охлаждающего воздуха, целесообразно поместить «холодные» спаи термопар в зоне или камере охлаждающего воздуха. В этом случае показания милливольтметра непосредственно определяют искомую величину превышения температуры и поправку на температуру «холодного» спая не вносят. Иногда применяют искусственные схемы для непосредственного определения абсолютных температур без необходимости внесения поправок на температуру «холодного» спая.

Одна из таких схем представлена на рис. 38, медные провода всех термопар обозначены жирными линиями, а константановые — более тонкими. В схему включена

дополнительная (контрольная) термопара, спай которой помещен в сосуд с тающим льдом. По приведенной схеме проверяют также термопары при сомнениях в правильности их показаний. Для этого в сосуд наливают масло и помещают в него термометр. При медленном нагревании масла показание милливольтметра будут равны нулю, когда термометр покажет температуру, совпадающую с температурой «горячего» спая проверяемой термопары, заложенной в двигатель.

Термосопротивления. Способ измерения температуры с помощью термосопротивления основан на общеизвестном свойстве металлов — увеличении их сопротивления при постоянном токе при повышении температуры. Способ удобен тем, что при нем определяют непосредственную абсолютную температуру нагретого места.

Таблица 10

Температура, °С	Сопротивление, *ом*	Температура, °С	Сопротивление, *ом*
0	53,0	75	69,89
5	54,13	80	71,02
10	55,25	85	72,15
15	56,38	90	73,27
20	57,51	95	74,40
25	58,63	100	75,53
30	59,76	105	76,65
35	60,88	110	77,78
40	62,01	115	78,90
45	63,14	120	80,03
50	64,26	125	81,16
55	65,39	130	82,28
60	66,52	135	83,41
65	67,64	140	84,54
70	68,77	150	86,79

Термосопротивления представляет собой тонкую медную проволоку, намотанную на полоске или цилиндрическом основании. Сопротивление проволоки при постоянном токе при температуре 0° С обычно подбирают равным 53 *ом*. Величина сопротивления этой проволоки при других температурах приведена в табл. 10.

Сопротивление измеряют либо мостом, либо к сопротивлению подключают постоянное или выпрямленное напряжение и специальным точным прибором магнитоэлектрической системы — лагометром (ЛПБ-46) измеряют

величину тока. Шкала лагометра градуируется непосредственно в градусах Цельсия. Напряжение питания составляет 4 *в*.

Термометры сопротивления закладывают в различных частях двигателя и поочередно подключают к лагометру переключателем. Этот переключатель отличается от применяемого при измерении термопарами тем, что в нем при переходе с одного контакта на другой происходит разрыв цепи питания. В противном случае в момент замыкания и размыкания контактов переключателя имели бы место броски тока, вредно влияющие на подвижную систему лагометра.

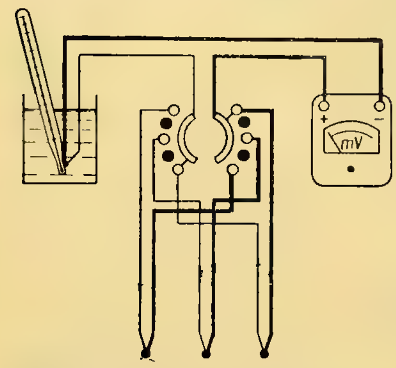


Рис. 38. Схема измерения температуры с контрольной термопарой.

Для правильной работы установки теплоконтроля необходимо, чтобы не только сопротивления термоиндикаторов были бы одинаковы, но и совпадали бы между собой сопротивления соединительных проводов между лагометром и термоиндикатором (термосопротивлением). Для этого в схеме установки предусматривают катушки с эталонным и подгоночными сопротивлениями.

По конструкции термосопротивления могут быть плоские, предназначаемые для закладки в пазы и цилиндрические — для измерения температуры жидкости, газов, а также для установки во вкладыши подшипников. Термосопротивления первого вида наматывают на текстолитовую пластинку и защищают оболочкой из бакелизированной бумаги или микашелка. Термосопротивления второго вида наматывают на медный или текстолитовый стержень и закладывают в герметический металлический футляр.

На рис. 39 приведена заводская схема установки термосопротивлений для крупного двигателя.

О п р е д е л е н и е т е м п е р а т у р ы о б м о т о к п о и х с о п р о т и в л е н и ю п р и п о с т о я н н о м т о к е основано на упомянтом выше свойстве металлов изменять свое сопротивление в зависимости температуры.

Преобразуя приведенную ранее формулу, определяющую эту зависимость, можно записать:

$$\vartheta = \vartheta_г - \vartheta_0 = \frac{R_г - R_х}{R_х}(235 + \vartheta_х) + \vartheta_х - \vartheta_0,$$

где ϑ — превышение температуры над температурой охлаждающей среды, °С; $\vartheta_г$ — температура обмотки в нагретом состоянии, °С; $\vartheta_х$ — температура обмотки в практически холодном состоянии, °С; ϑ_0 — температура

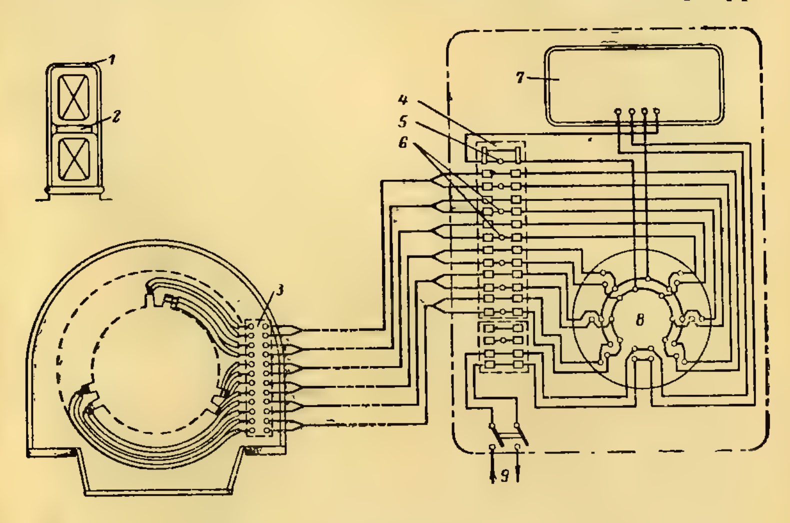


Рис. 39. Схема включения лагометра и расположение термометров сопротивления.

1 — измерение температуры стали; *2* — измерение температуры обмотки; *3* — доска зажимов термометров сопротивления; *4* — панель с эталонной и подгоночными катушками; *5* — эталонная катушка; *6* — подгоночные катушки; *7* — лагометр; *8* — переключатель; *9* — к источнику постоянного тока.

охлаждающей среды, °С; $R_г$ — сопротивление обмотки в нагретом состоянии, *ом*; $R_х$ — сопротивление обмотки, измеренное в практически холодном состоянии, т. е. при температуре $\vartheta_х$, *ом*.

Формула относится к обмоткам, изготовленным из меди. Для алюминиевых обмоток цифру 235 в формуле следует заменить на 245. Под охлаждающей средой для двигателей подразумевается продуваемый через него или окружающий его воздух.

Следует учитывать, что от момента отключения двигателя до начала замеров сопротивления его обмотки

обычно проходит некоторое время, в течение которого обмотка успевает несколько остыть. Поэтому для правильного определения температуры обмоток в момент отключения, т. е. в рабочем состоянии двигателя, поступают следующим образом.

После отключения машины производят по возможности через равные (точно измеряемые по секундомеру) промежутки времени несколько, но не меньше трех измерений температуры. Промежуток времени между измерениями не должен превышать времени, прошедшего от момента выключения машины до момента проведения первого измерения температуры.

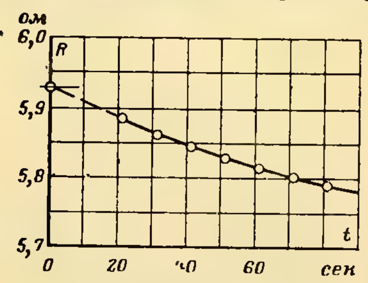


Рис. 40. График изменения величины сопротивления обмотки при остывании.

Первое измерение температуры обмотки производят не позднее чем через 1 *мин* от момента отключения — для машины мощностью до 10 *квт* включительно, через 1 *мин* 30 *сек* — для машин мощностью выше 10 до 100 *квт* включительно и через 2 *мин* — для машин мощностью выше 100 *квт*.

Если первое измерение температуры выполнено не более чем через 15—20 *сек* от момента выключения, то за температуру принимают наибольшую из первых трех измеренных. Если первое измерение произведено позднее чем через 20 *сек* после отключения машины, то вносят поправку на остывание. Для этого производят 6—8 измерений сопротивления и строят график изменения величины сопротивления обмотки при остывании (рис. 40).

По оси абсцисс откладывают (точно в масштабе) время, прошедшее от момента выключения машины до первого измерения, и промежутки между измерениями (*сек*), а по оси ординат соответствующие измеренные сопротивления, и получают кривую зависимости (изображена сплошной линией). После этого продолжают кривую влево, сохраняя характер ее изменения, до пересечения с осью ординат (изображена пунктирной линией). Отрезок на оси ординат, от начала координат до точки пересечения с пунктирной кривой, с достаточной точностью определит искомое сопротивление обмотки двигателя,

Следует учитывать, что при определении температуры обмоток по способу замера их сопротивления определяется средная температура обмоток. В действительности же при работе двигателя отдельные зоны обмоток, как правило, имеют разную температуру; максимальная температура обмоток, определяющая сохранность изоляции, всегда несколько превышает среднее значение.

ГОСТ 183-66 определяет допускаемые превышения температуры частей электрических машин. Эти данные приведены в табл. 11.

Превышением температуры какого-либо тела (или участка тела) называется разность между его температурой и температурой окружающей среды.

В машинах с принудительной вентиляцией за температуру охлаждающей среды принимают температуру входящего в машину охлаждающего воздуха (или газа); в остальных машинах — температуру окружающего воздуха.

Например, если температура воздуха, входящего в машину (при принудительной вентиляции) или окружающего машину (при отсутствии принудительной вентиляции), равна 30° С, а измеренная температура обмотки равна 100° С, то *превышение* температуры обмотки равно 100° С—30° С=70° С.

Для закрытых машин на напряжение не более 1 500 *в* измеренные методом сопротивления превышения температуры могут быть на 5° С выше. Указанные величины относятся к двигателям при температуре охлаждающей среды +40° С и высоте над уровнем моря не более 1 000 *м*. Если температура охлаждающей среды находится в пределах 40—45° С, предельные допустимые превышения температуры снижаются на 5° С, а при температурах среды 45—50° С — снижаются на 10° С для всех классов изоляционных материлов; если же температура охлаждающей среды меньше +40° С, то для всех классов изоляции допускаемые превышения температуры могут быть увеличены на столько градусов, на сколько температура охлаждающей среды ниже 40° С, но не более чем на 10° С.

Для двигателей, спроектированных ранее в соответствии с ГОСТ 183-55 до его замены на ГОСТ 183-66, предельные допускаемые температуры могут быть на 5° С выше, чем указано в табл. 11, при условии, что темпера-

Таблица 11

Части двигателя	Предельные допускаемые превышения температуры, °С, при изоляционных материалах класса					Метод измерения температуры
	A	E	B	F	H	
Обмотки переменного тока двигателей 5 000 *ква* и выше с длиной сердечника 1 *м* и выше	60	70	80	100	125	Сопротивления или температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу. Данные — вне зависимости от метода измерения
То же — менее 5 000 *ква* или с длиной сердечника менее 1 *м*	50*	65*	70*	85**	105***	Термометра или сопротивления. Данные приведены для измерения методом термометра
Стержневые обмотки роторов асинхронных двигателей	65	80	90	110	135	Термометра или сопротивления. Данные вне зависимости от метода измерения
Контактные кольца	60	70	80	90	110	Термометра
Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с обмотками	60	75	80	100	125	Термометра
То же, не соприкасающиеся с обмотками	Превышение температуры этих частей не должно превышать значений, которые создавали бы опасность повреждения изоляционных или других смежных материалов					

* При измерении методом сопротивления допускаемая температура увеличивается на 10° С.
** То же на 15° С.
*** То же на 20° С.

тура охлаждающей среды не превышает +35° С.

ГОСТ 183-66 предусматривает также некоторое изменение предельных допускаемых температур для машин на номинальное напряжение выше 11 000 *в* и при установке выше 1 000 *м* над уровнем моря; эти данные здесь не приводятся.

14. ИСПЫТАНИЕ НА НАГРЕВАНИЕ

Это испытание производят только в тех случаях, когда при ремонте изменены электромагнитные нагрузки, в частности, мощность или скорость вращения электродвигателя.

Испытание на нагревание производят приложением к двигателю непосредственной нагрузки, равной его номинальной мощности, при номинальном напряжении до практически установившейся температуры отдельных частей двигателя, т. е. до такого состояния, когда в течение последнего часа испытания температура охлаждающей или окружающей среды, а также все измеряемые температуры частей машины изменяются не более чем на 1° С.

Для нагрузки асинхронного двигателя при его испытании на нагревание допустимы различные методы; наиболее простые из них — это различные тормоза (колодочный, ленточный и т. д.), а также нагрузка при помощи генератора, работающего на реостат.

При этих методах энергия, расходуемая при испытаниях, теряется безвозвратно.

Существуют схемы испытаний на нагревание, при которых большая часть используемой энергии возвращается в сеть; естественно, что эти схемы более предпочтительны, однако испытательные устройства при этом усложняются и удорожаются; поэтому в испытательных схемах электроремонтных предприятий такие установки применяются редко.

Если определение установившейся температуры обмотки производится методом экстраполяции путем построения кривой остывания после отключения двигателя, то для асинхронных двигателей с фазовым ротором построение приходится производить дважды: один раз для обмотки статора и второй раз для обмотки ротора, для чего двигатель после построения кривой остывания обмотки статора вторично приводят во вращение с прежней

нагрузкой до установления прежних температур и затем вторично отключают.

Испытание на нагревание иногда проводят не при номинальной нагрузке, а при номинальном токе $I_н$, который может быть несколько меньше, чем ток I, соответствующий номинальной нагрузке; в этих случаях измеренное превышение температуры обмотки θ можно пересчитать по формуле

$$\theta' = \left(\frac{I}{I_н}\right)^2 \theta,$$

где θ' — искомое превышение температуры обмотки при номинальной нагрузке.

15. ИСПЫТАНИЕ НА КРАТКОВРЕМЕННУЮ ПЕРЕГРУЗКУ ПО ТОКУ

Согласно требованиям ТУ 16-519.002-67 в объем типовых испытаний отремонтированных двигателей, если при ремонте изменены мощность или скорость вращения, входит кратковременная перегрузка по току. Перегрузку на 50% двигатели мощностью 0,6 *квт* и выше должны выдержать без повреждений и остаточных деформаций в течение 2 *мин*, а мощностью до 0,6 *квт* — в течение 1 *мин*.

Не всегда удается осуществить перегрузку по току на 50% при номинальном напряжении, поэтому допускается на это время несколько снизить напряжение; однако следует помнить, что при сильном снижении напряжения вращающий момент двигателя резко уменьшается и двигатель может остановиться.

16. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ МАРКИРОВКИ ВЫВОДНЫХ КОНЦОВ ОБМОТКИ

Все вновь отремонтированные двигатели должны иметь такое же обозначение (маркировку) выводов обмотки, как новые двигатели.

Маркировка концов обмотки статора трехфазных асинхронных двигателей в соответствии с ГОСТ 183-66 приведена в табл. 12.

Таблица 12

Схема соединений обмотки	Число выводов	Название вывода	Обозначение вывода	
			начало	конец
Открытая схема	6	Первая фаза	C_1	C_4
		Вторая фаза	C_2	C_5
		Третья фаза	C_3	C_6
Соединение звездой	3 или 4	Первая фаза	C_1	
		Вторая фаза	C_2	
		Третья фаза	C_3	
		Нулевая точка	0	
Соединение треугольником	3	Первый зажим	C_1	
		Второй зажим	C_2	
		Третий зажим	C_3	

Маркировка выводов обмотки ротора указана в табл. 13.

Таблица 13

Число выводов на контактных кольцах	Название вывода	Обозначение вывода
3	Первая фаза	P_1
	Вторая фаза	P_2
	Третья фаза	P_3
4	Первая фаза	P_1
	Вторая фаза	P_2
	Третья фаза	P_3
	Нулевая точка	0

Контактные кольца обозначают так же, как присоединенные к ним выводы обмотки ротора; при этом расположение колец должно быть в порядке цифр, указанных в таблице, а кольцо P_1 должно быть наиболее удаленным от обмотки ротора. Обозначение самих колец буквами необязательно.

Все двигатели, имеющие устаревшую, ранее применяемую маркировку выводов (например H_1, H_2, H_3, K_1, K_2, K_3 или X, Y, Z, U, V, W и др.), при ремонте должны быть перемаркированы.

Правильность обозначения начала и конца фазы обмотки проверяют следующим образом.

Две фазы обмотки соединяют последовательно и включают под напряжение, равное 10—15% номинально-

го. Третью фазу обмотки присоединяют к вольтметру. Если показание вольтметра равно нулю, то находящиеся под напряжением фазы соединены одноименными выводами (т. е. началами или концами фаз). Затем фазу, включенную на вольтметр, заменяют одной из фаз, включенных под напряжение, и, аналогичным способом повторяя опыт, находят, какой ее вывод является одноименным с ранее определенным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баннов С. Е., Ремонт электрооборудования металлургических заводов, Металлургиздат, 1957.
2. Виноградов Н. В., Производство электрических машин, Госэнергоиздат, 1961.
3. Жерве Г. К., Руководство для электромонтеров по испытанию электрических машин, Госэнергоиздат, 1955.
4. Жерве Г. К., Расчет асинхронного двигателя при перемотке, изд-во «Энергия», 1967.
5. Жерве Г. К., Промышленные испытания электрических машин, изд-во «Энергия», 1968.
6. Коварский Е. М., Ремонт электрических машин, Госэнергоиздат, 1960.
7. Минин Г. П., Измерение мощности, изд-во «Энергия», 1965.
8. Рубо Л. Г., Пересчет и ремонт асинхронных двигателей мощностью до 100 *квт*, Госэнергоиздат, 1961.
9. Рубо Л. Г., Маршак Е. Л., Монтаж обмоток электрических машин высокого напряжения, изд-во «Энергия», 1964.
10. Смирнов М. В., Контроль и испытание обмоток электрических машин и аппаратов, Госэнергоиздат, 1959.
11. Третьяков М. М., Испытание электродвигателей малой мощности, изд-во «Энергия», 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 15 коп.